



Hodnocení možností odformování plastových dílů ze vstřikovacích forem

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Michal Novák**
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld





Zadání diplomové práce

Hodnocení možností odformování plastových dílů ze vstřikovacích forem

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Novák**
Osobní číslo: S17000319
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a materiály
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše a popis stávajícího stavu.
2. Možnosti odformování plastových dílů z hlediska materiálu, konstrukce dílu, konstrukce formy.
3. Výběr dílu pro aplikaci doporučené úpravy z hlediska zvýšení kvality odformování.
4. Provedení experimentů u vybraného dílu v závislosti na navržených materiálových a konstrukčních úpravách.
5. Vyhodnocení vlivu navržených úprav na kvalitu odformování.
6. Diskuse výsledků, závěr.

Rozsah grafických prací: grafy, obrázky, tabulky
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] LENFELD, P. *Technologie vstřikování*. www.etul.publi.cz, 2015. ISBN iOS: 978-80-88058-72-4, ISBN Android: 978-80-88058-73-1.
- [2] SOVA, M. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer s.r.o., 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] STEVENSON, J. F. *Innovation in Polymer Processing: Molding*. Carl Hanser Verlag, 1996.
- [4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Nakladatelství BEN, 2009 ISBN 80-7300-026-1.
- [5] BEAUMONT, L. *Successful Injection Moulding*, Hanser, 2002.
- [6] Firemní materiály.

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Katedra strojírenské technologie
Datum zadání práce: 31. října 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 1. listopadu 2018



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

23. 4. 2019

Bc. Michal Novák

Název diplomové práce

Hodnocení možností odformování plastových dílů ze vstřikovacích forem

Master thesis title

Evaluation of possibilities of molding of plastic parts from injection forms

Anotace

Hlavním cílem této diplomové práce je nalezení nejvhodnější metody odformování plastových dílů ze vstřikovacích forem. V teoretické části této práce je rozebrána technologie vstřikování s popisem výrobního cyklu a faktory ovlivňující výrobní cyklus. Dále jsou v práci popsány možnosti odformování plastových dílů z hlediska materiálu, z hlediska konstrukce dílu a z hlediska vstřikovací formy. Experimentální část diplomové práce se zabývá úpravou konstrukce vstřikovací formy pro výrobu dílu X ve společnosti RBCB, týkající se korekce tvaru a geometrie vložky pro odformování nátrubků, včetně realizace vložky a měření vystráknutého dílu. V závěrečné fázi práce je provedeno vyhodnocení korekce na odformování dílu a její výsledek.

Klíčová slova: odformování plastu, vstřikování plastů, vstřikovací formy, nátrubek

Annotation

The main aim of this master thesis is finding s most appropriate of method for molding of plastic parts from injection tool. In the theoretical part of this thesis is analysis of injection technology with a description of the production cycle and factors influencing this cycle. Furthermore, the thesis describes the possibility of molding plastic parts in terms of material, in terms of component design and injection mold design. The experimental part of this thesis deals on the modification of the injection mold for the production of the part X of RBCB, regarding the correction of the shape and geometry of the insert for molding of the pipes, including realization and measurement of molding part. In the final phase of the thesis is evaluation of the correction of molding part and its result.

Key words: molding of plastic, injection of plastic, injection tool, pipes

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Dr. Ing. Petrovi Lenfeldovi za jeho odborné vedení a cenné rady, za poskytnuté materiály a připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Luboši Drbohlavovi a Ing. Janu Panochovi za pomoc a za poskytnuté materiály ze strany RBCB. V neposlední řadě bych rád poděkoval Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za kontrolu formálních chyb.

Obsah

1. Úvod	10
1.1. Plasty v automobilovém průmyslu	10
1.2. Historie společnosti Robert Bosch.....	11
1.1.1. Robert Bosch, spol. s.r.o., České Budějovice.....	11
2. Technologie vstřikování	13
2.1. Princip technologie vstřikování plastů.....	14
2.2. Vstřikovací cyklus	15
2.3. Vyjmutí výstřiku	17
2.4. Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku	18
2.5. Vstřikovací formy	19
3. Možnosti odformování/vyhození plastových dílů	24
3.1. Vliv materiálu na odformování.....	24
3.1.1. Smrštění	24
3.1.2. Vazba mezi plastem a kovem	27
3.2. Vliv konstrukce dílu na odformování	30
3.2.1. Tloušťka stěny	30
3.2.2. Žebra.....	31
3.2.3. Výstupky.....	33
3.2.4. Úkosy.....	34
3.3. Vliv konstrukce formy na odformování.....	36
3.3.1. Mechanické odformování	36
3.3.2. Pneumatické odformování.....	41
3.3.3. Hydraulické odformování.....	42
4. Experimentální část - odformování nátrubku na plastovém dílu.....	43

4.1.	Současný stav	44
4.2.	Geometrie nátrubku	47
4.3.	Rozměry při současné výrobě	47
5.	Úprava geometrie vložky, 1. varianta řešení	49
5.1.	Vyrobení vložky	50
5.2.	Vyhodnocení	52
6.	Úprava geometrie vložky, 2. varianta řešení	53
6.1.	Vyrobení vložky	53
6.2.	Vyhodnocení	55
7.	Úprava geometrie vložky, 3. varianta řešení	57
7.1.	Vyrobení vložky	57
7.2.	Vyhodnocení	60
8.	Závěr	62
9.	Seznam použité literatury	65
10.	Seznam příloh	68

Seznam použitých symbolů a zkratk

ABS	-	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
PVC	-	Polyvinylchlorid	[-]
RBCB	-	Robert Bosch České Budějovice	[-]
p_i	-	vnitřní tlak v dutině vstřikovací formy	[MPa]
t_{s1}	-	čas uzavření vstřikovací formy	[s]
t_{s2}	-	čas přisunutí tavicí komory k formě	[s]
t_v	-	doba plnění (vstřikování)	[s]
t_{ch}	-	doba chlazení	[s]
t_d	-	doba dotlaku	[s]
t_{pl}	-	čas plastikace	[s]
p_z	-	zbytkový tlak	[MPa]
t_{s3}	-	čas otevření vstřikovací formy	[s]
t_m	-	manipulační doba	[s]
T_{tav}	-	teplota taveniny	[°C]
T_f	-	teplota formy	[°C]
PA 6	-	Polyamid šest	[-]
PA 66	-	Polyamid šest šest	[-]
PC	-	Polykarbonát	[-]
PMMA	-	Polymethylmethakrylát	[-]
PP	-	Polypropylen	[-]
PS	-	Polystyren	[-]

PE	-	Polyethylen	[-]
SAN	-	Styren–akrylonitril	[-]
PBT	-	Polybutylentereftalat	[-]
TPU	-	Termoplastický polyuretan	[-]
GF	-	skelná vlákna	[-]
SV	-	skelná vlákna	[-]
CA	-	Acetát celulózy	[-]
s	-	tloušťka stěny	[-]
DE	-	německý jazyk	[-]
EN	-	anglický jazyk	[-]
K224-HG6	-	označení akulonů	[-]
1.2343	-	označení oceli	[-]
CAD	-	kreslící program	[-]
CAM	-	počítačová podpora obrábění	[-]

1. Úvod

Plasty se staly nedílnou součástí našeho každodenního života. Jejich význam neustále roste z důvodu jejich malé energetické náročnosti při zpracování ve srovnání s jinými materiály z důvodu nízké měrné hmotnosti.

Nejvíce plastů se spotřebuje pro obalový průmysl, dále se většina plastů spotřebuje pro technické účely, kde v průmyslově vyspělých zemích zaujímá ve strojírenství spotřeba plastů zhruba jednu třetinu. Dalším velkým spotřebitelem plastů je elektrotechnický průmysl, zejména výroba kabelů a izolace vodičů. Dále má velký podíl na spotřebě plastů stavební průmysl.

K hlavním výhodám plastů patří jejich výborná zpracovatelnost. Existuje mnoho způsobů tváření za účelem výroby hotových výrobků i polotovarů, které se následně mohou tvarovat, svařovat, lepit, obrábět atd. Ve prospěch plastů hovoří i stále se snižující zásoba kovových rud i nedostatek ostatních přírodních surovin, proto plasty s úspěchem nahrazují obalový materiál, nábytek i další.

Na druhou stranu je třeba si uvědomit i limitující faktory použitelnosti plastů. Patří k nim relativně nízká tepelná odolnost, kdy u běžných plastů hovoříme o nemožnosti použití plastů při teplotách vyšších než 100°C. Změny teplot mají také za následek vyšší změny mechanických vlastností než u kovových materiálů jako jsou pevnost v tahu, modul pružnosti nebo kříp. V neposlední řadě pak nesmíme zapomenout na zátěž životního prostředí. [1]

1.1. Plasty v automobilovém průmyslu

Jak již bylo uvedeno, plasty se používají v různých průmyslových odvětvích, mezi které patří i automobilový průmysl, kde je použit hlavně z důvodu ušetření hmotnosti, jednoduchosti výroby plastových dílů a bezpečnosti. Další výhodou použití plastů v automobilovém průmyslu je dlouhá životnost plastu, jeho odolnost proti degradaci a nízké nároky na údržbu.

V dnešní době se v automobilech nachází i 750 plastových dílů a součástí, kde nejvíce je využíván plast na bázi polypropylenu (cca 35 %), dále různé druhy polyamidů (cca 14 %), polyetylén (cca 10 %), polymery ABS (cca 7 %) a další.

Prvopočátky plastů v automobilovém průmyslu nebyly lehké z důvodu snadného vzplanutí, rychlého stárnutí na slunci a ceně. Moderní plasty dokonce vznikly dříve než první automobily. Až bakelit se ale uplatnil v širším měřítku jako izolátor elektroinstalace, hlavně na pojistkových skříních, rozdělovačích ale i volantech.

Přelomová byla 30. léta minulého století, kdy vznikl vinil (PVC), který se používal pro čalounění a polyetylen, který se osvědčil jako izolátor. Rozvoj plastů probíhal i v dalších letech, např. pro porovnání v 70. letech obsahoval běžný automobil střední třídy zhruba 6 % plastů, tedy asi 66 kg. Oproti tomu dnes mají plasty v automobilu zhruba pětinový podíl, tedy něco kolem 200 kg. [2][3]

Tato práce je zaměřena na nalezení nejvhodnější metody odformování plastového dílu ze vstřikovací formy. Volba metody odformování bude následně aplikována na konkrétním příkladu výrobku společnosti Bosch, u kterého je nutná korekce tvaru a geometrie vložky vstřikovací formy z důvodu rozměrové odchylky skutečného dílu proti výkresové dokumentaci.

1.2. Historie společnosti Robert Bosch

Společnost byla založena v roce 1886 panem Robertem Boschem nedaleko Stuttgartu. Dílna měla pouze dva zaměstnance zabývající se konstrukcí a instalací různých elektronických zařízení. V následujícím roce, dle požadavků zákazníka, vynalezl pan Bosch elektromagnetické zapalování. V roce 1901 byla otevřena první továrna ve Stuttgartu a v roce 1906 továrna vyprodukovala prvních 100 000 zapalování.

Z počátku století začala společnost zakládat první prodejní pobočky a rozšířila oblast prodeje do další států a světadílů a začala se rozvíjet i mimo automobilový průmysl, konkrétně v elektronických zařízeních jako je elektronické nářadí, plynové kotle, radiopřijímače a domácí spotřebiče. Dalšími významnými produkty pro automobil od společnosti Bosch byla a je výroba reflektorů, vstřikovacích jednotek, lambda senzorů, pedálů, sání, palivových čerpadel atd. [4]

1.1.1. Robert Bosch, spol. s.r.o., České Budějovice

Společnost RBCB vznikla v Českých Budějovicích v roce 1992 jako společný podnik mezi Motor Jikov a.s. a Robert Bosch GmbH a byla zapsána do obchodního rejstříku pod názvem Robert Bosch spol. s.r.o.. Jednalo se pouze o výrobní závod, kde veškeré vývojové aktivity probíhaly v mateřském závodě v Německu.

V roce 1995 došlo k osamocení společnosti od společnosti Motor a v roce 1996 bylo centrálou rozhodnuto, že v Českých Budějovicích bude vybudována nezávislá struktura s vlastním vývojem, výzkumným a testovacím centrem, což napomohlo k dalšímu rozvoji pobočky. S tímto rozvojem je spojeno první pořízení strojů pro výrobu a zpracování plastů. Počet strojů se v následujících letech dále zvedal až na aktuální stav, který k začátku roku 2019 činí 62 vstřikovacích strojů plus přídavné zařízení jako temperační agregáty, vstřikovací formy, zařízení pro sušení a dopravu granulátu a další. Příklady výrobku společnosti Bosch v Českých Budějovicích můžete nalézt na obrázku 1.1. [5]



Obrázek 1.1: Výrobky RBCB [6]

2. Technologie vstřikování

Technologie vstřikování se řadí mezi takzvané tvářecí technologie a jejím principem je přeměna výchozího polymerního materiálu na tvar, který je výrazně odlišný, např. pedál automobilu. Polymerní materiál se může nacházet v různých modifikacích, jako je granulát, pasta, kapalina, prášek nebo jiné, a před samotným procesem tváření je různými technologickými postupy a procesy připraven dle požadovaných konečných vlastností. Mezi tvářecí technologie se kromě vstřikování řadí také technologie vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování a další.

Vstřikování je jednou z nejrozšířenějších technologií pro zpracování plastů a kompozitů současné doby. Má širokou oblast využití od automobilového, leteckého, medicínského, vojenského a potravinářského průmyslu. Výrobek má buďto charakter konečného výrobku, polotovaru anebo dílu pro následující zkompletování výrobního celku.

Výhodou technologie vstřikování je, že výrobek má vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost při sériové produkci, na jeden cyklus lze získat konečný díl, a to i velmi tvarově složitý, výborná kvalita povrchu, velmi krátký výrobní cyklus a další.

Nevýhodami vstřikovací technologie je velká pořizovací cena na nákup strojů a nástrojů, velikost strojního vybavení v poměru k velikosti dílu.

Pro vstřikování plastů se používá vstřikovací stroj. Ten může být různého typu podle druhu pohonu. Dělí se na stroje: hydraulické, elektrické nebo hybridní. Příkladem takového stroje je na obrázku 2.1 zařízení od společnosti ENGEL s.r.o. Vstřikovací stroje obsahují dvě na sobě nezávislé jednotky a to vstřikovací a uzavírací jednotku, které jsou řízeny mikroprocesorovou jednotkou. Účelem vstřikovací jednotky je doprava plastu, plastikace, vstřikování a dotlak taveniny plastu. Uzavírací jednotka slouží k zavírání a otevírání formy, udržuje formu v uzavřeném stavu během fáze vstřikování a v neposlední řadě také zajišťuje vyhození výrobku. [7]

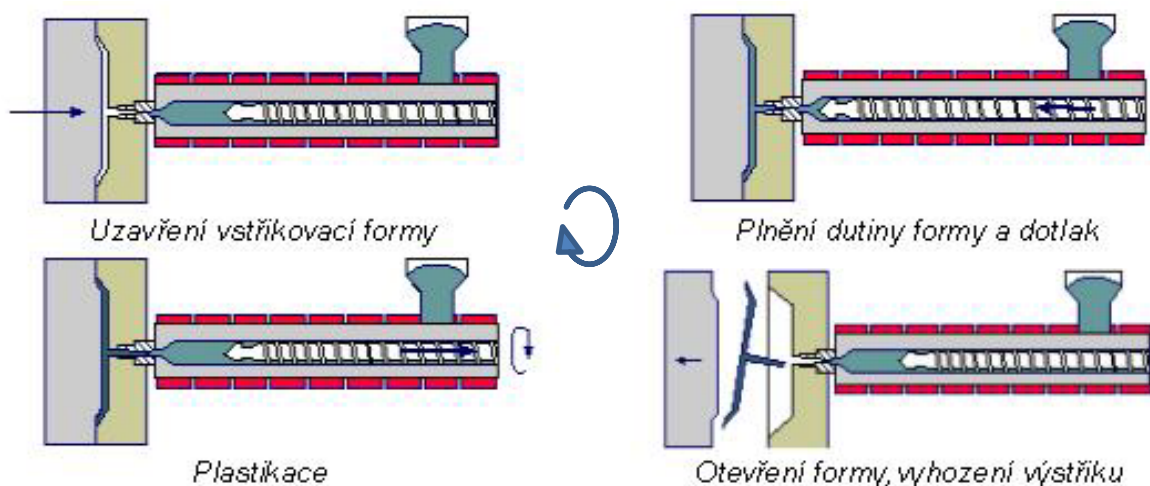


Obrázek 2.1: Vstřikovací stroj ENGEL e-duo 700 [8]

2.1. Princip technologie vstřikování plastů

Principem technologie vstřikování plastů je tvářecí proces, během kterého je potřebná dávka zpracovaného materiálu ve formě taveniny vstříknuta pomocí šneku nebo pístu do dutiny formy (v převážném případě kovové), kde v důsledku odvodu tepla ztuhne v konečný výrobek.

Postup vstřikovacího cyklu je nejčastěji následující: plast, většinou v podobě granulí, je nasypán do násypky, z níž je pomocí šneku odebírán a dopravován do tavící komory, kde za současného působení tření a ohřevu taje a vzniká tavenina. Tato fáze se nazývá plastikace. Tavenina je pomocí šneku promíchána, stlačena a následně vstříknuta do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze za účelem snížení smrštění a rozměrových změn. Forma odvádí z taveniny plastu teplo, což vede k ochlazení plastu a jeho ztuhnutí. Poté se forma otevře, výrobek je vyjmut a celý proces se může opakovat. Průběh vstřikovacího cyklu můžete vidět na obrázku 2.2. [1][7][9]

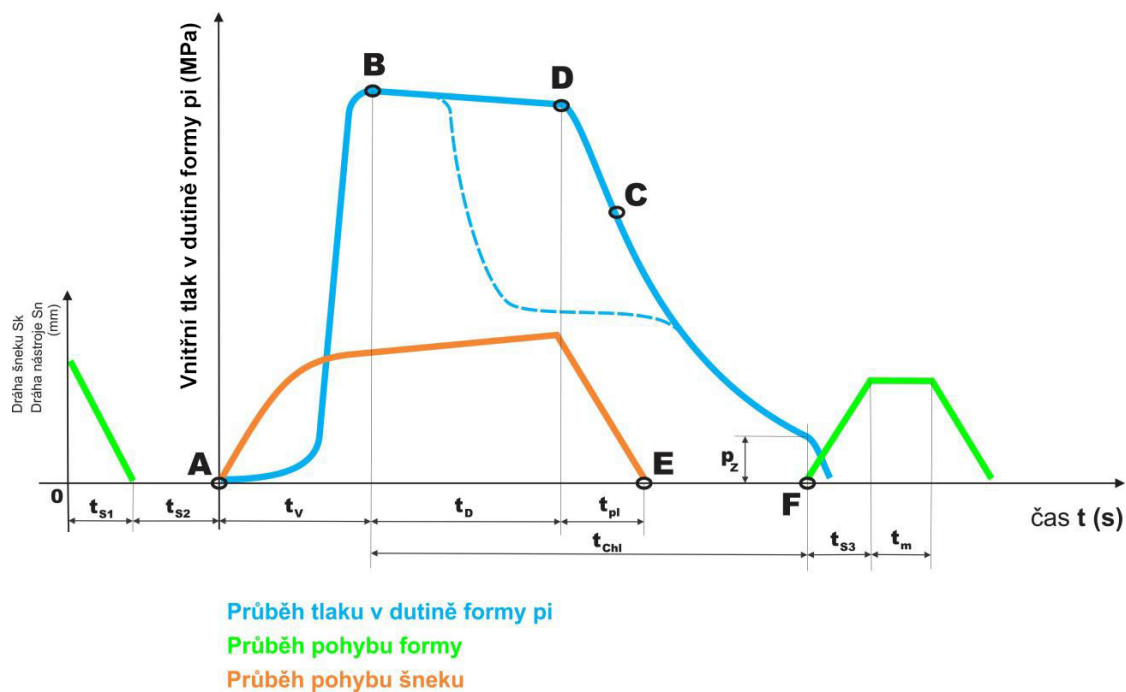


Obrázek 2.2: Vstřikovací cyklus [9]

2.2. Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je postup přesně specifikovaných úkonů, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Je to proces, při kterém plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Pro jeho popis je nutné jednoznačně definovat jeho počátek. Nejčastěji se s výhodou používá impuls k uzavření formy.

Jedním z nejčastějších způsobů popisu vstřikovacího cyklu je vyjádření závislosti tlaku v dutině vstřikovací formy na čase viz obrázek 2.3. Tento vnitřní tlak se značí p_i a je možné ho naměřit v dutině vstřikovací formy při procesu vstřikování.



Obrázek 2.3: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [7]

Na začátku vstřikovacího cyklu je forma otevřená a její dutina je prázdná. V čase nula dostane stroj signál k zahájení vstřikovacího cyklu. V prvním časovém úseku, značeném t_{s1} , se forma uzavře (pohyblivá část se přisune k pevné části formy) a „zamkne“. V časovém úseku označeném t_{s2} se tavící komora přisune k formě. Úseky t_{s1} a t_{s2} pak představují tzv. strojní časy.

V okamžiku bodu A se dává do pohybu šnek v tavící komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny formy. Tato část cyklu se nazývá plnění a doba, během níž toto plnění probíhá, se nazývá doba plnění nebo doba vstřikování a značí se t_v . Během této fáze se šnek neotáčí, ale koná pouze axiální pohyb a působí vlastně jako píst. Objem vstříknuté taveniny plastu tvoří 95 až 97 % objemu dutiny vstřikovací formy. Ve fázi plnění dosáhne tlak v dutině formy maximální hodnoty p_i a nárůst tohoto tlaku zaznamenává čidlo, které je ve formě umístěno. Fáze plnění je ukončena v bodě B.

Ihned v okamžiku vstřiku taveniny do dutiny formy předá tavenina teplo vstřikovací formě a začne chladnout. Toto chladnutí trvá až do okamžiku otevření formy a vyjmutí výstřiku a doba, během níž probíhá chlazení, se značí t_{ch} (po vyjmutí dílu z dutiny vstřikovací formy dochází stále k chladnutí dílu již bez tlaku až do vyrovnání teploty výstřiku s teplotou okolí). V praxi se doba t_{ch} dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. V první části chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby na výstřiku nevznikly staženiny nebo propadliny, je nutné zmenšení objemu kompenzovat dotlačením malého objemu taveniny do dutiny formy. Tato část cyklu se nazývá doba dotlaku a značí se t_d . Dotlak může mít po celou dobu stejnou hodnotu jako maximální tlak p_i (plná modrá čára) anebo se může po několika sekundách snížit (přerušovaná modrá čára), takže další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. V bodě D fáze dotlaku končí a začíná fáze plastikace nové dávky plastu. Důležitým bodem z hlediska kvality výstřiku je ještě bod C, který označuje okamžik zatuhnutí hmoty ve studeném vtokovém kanálu. Aby bylo možné vůbec realizovat fázi dotlaku, je nutné mít před čelem šneku tzv. polštář, což je určitý objem roztaveného plastu (obvykle 5 až 10 % vstřikovaného objemu, méně než jednonásobek průměru šneku D). Po zatuhnutí hmoty v bodě C se spojení mezi tavící komorou a dutinou formy přeruší a další prodlužování dotlaku je bezúčelné.

Časový úsek doby plastikace značíme t_{pl} . Šnek se začne otáčet a nabírá pod násypkou granulovanou hmotu, kterou následně plastiku a vtlačuje před čelo šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Tento protitlak ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu a v extrémním případě může

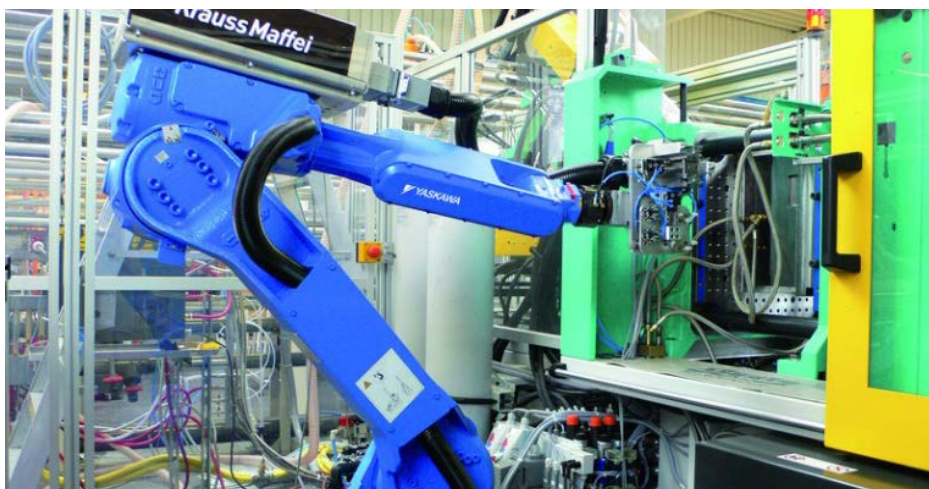
dojít až k degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace probíhá díky následujícím faktorům: převod tepla ze stěny válce, teplo způsobené třením plastu o stěny komory a povrch šneku, přeměna hnětací práce šneku na teplo. Doba plastikace končí v bodě E, kdy se otáčení šneku zastaví a může nebo nemusí následovat odsunutí tavící komory od vstřikovací formy (strojní čas).

Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota, pochopitelně již ztuhlá, nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příčinou nedostatečného zbytkového tlaku mohou být propadliny a deformace výstřiků, naopak vysoký zbytkový tlak má za následek vysoké vnitřní pnutí až samovolné praskání dílu. Zbytkový tlak lze korigovat nastavením doby dotlaku anebo moderněji programovaným průběhem tlaku p_i během fáze dotlaku, jak je znázorněno na obrázku 2.3 čárkovanou čarou.

V bodě F dojde o otevření vstřikovací formy a vyjmutí výstřiku pomocí vyhazovacích kolíků. Tuto operaci charakterizuje strojní doba t_{s3} . V případě vyjmutí výstřiku za pomoci manipulátoru ještě následuje manipulační doba t_m , kterou je třeba uvážit před zahájením dalšího cyklu. Tato doba může navíc obsahovat také další činnosti jako: vkládání kovových zálisků do formy, dávkování separačních prostředků, očištění formy a další. [1][7][9]

2.3. Vyjmutí výstřiku

Výrobní cyklus je zakončen otevřením vstřikovací formy, což charakterizuje strojní čas t_3 a vyjmutím výrobku z dutiny. Doba manipulace t_m slouží k provedení nutných úkonů při otevřené formě, jako je vyjmutí výrobku a je-li potřeba vtokového přebytku z formy, vložení zálisků, očištění formy apod. Činnost manipulátoru je na obrázku 2.12. [1][7][9]



Obrázek 2.4: Manipulátor YASKAWA [10]

2.4. Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku

Na vlastnosti konečného výrobku má vliv mnoho faktorů. Nejvíce ovlivňuje kvalitu vstřikovaných dílů druh plastu, konstrukce výrobku, technologické parametry, konstrukce formy a typ stroje (metoda vstřikování). Parametry, týkající se tématu diplomové práce jsou zvýrazněny tučně.

a) Druh plastu

- **Typ plastu**
- **Druh a množství přísad**
- Nadmolekulární struktura
- Obsah vody v plastu
- Rychlost plastikace polymeru
- Rovnoměrná homogenita taveniny
- Tekutost plastu (reologické vlastnosti)
- Dostatečná tepelná stabilita plastu
- Uvolňování těkavých látek nebo vlhkosti
- **Smrštění plastu v jednotlivých směrech výrobku**
- Velikost pnutí
- Relaxace

b) Konstrukce

- **Velikost výrobku**
- Tloušťka stěny
- **Velikost rádiusů**
- Hmotnost výrobku
- **Tolerance výrobku**
- **Složitost výrobku**

c) Technologických parametrů

- Teplota formy
- Teplota taveniny
- Rychlost vstřikování
- **Doba dotlaku**
- **Velikost dotlaku**
- Vstřikovací tlak

d) Konstrukce vstřikovací formy

- Násobnost formy
- Konstrukce vtokové soustavy
- Konstrukce temperačního systému
- **Konstrukce vyhazování**
- Konstrukce odvodu vzduchu
- **Materiál vstřikovací formy**
- **Teplota formy T_f**
- Teplota temperačního média
- Rozměry dutiny vstřikovací formy
- **Kvalita povrchu vstřikovací formy**
- Deformace a poškození formy

e) Volby stroje

- Konstrukce stroje
- Typ trysky
- Velikost dávky
- Vstřikovací kapacita stroje
- Plastikační kapacita stroje
- Uzavírací síla stroje
- Teploty jednotlivých pásem tavicí komory
- Teplota trysky
- Otáčky šneku
- Doba plastikace
- Zpětný tlak

Jednotlivé parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem. [7][9]

2.5. Vstřikovací formy

Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí splnit mnoho požadavků vycházejících z principu procesu vstřikování. Forma musí zajistit dopravu materiálu do dutiny formy a její naplnění, dále odvod tepla přivedeného taveninou polymeru a v neposlední řadě musí být forma bezpečná a v krátké a rychlé periodě zajistit vyjmutí výstřiku.

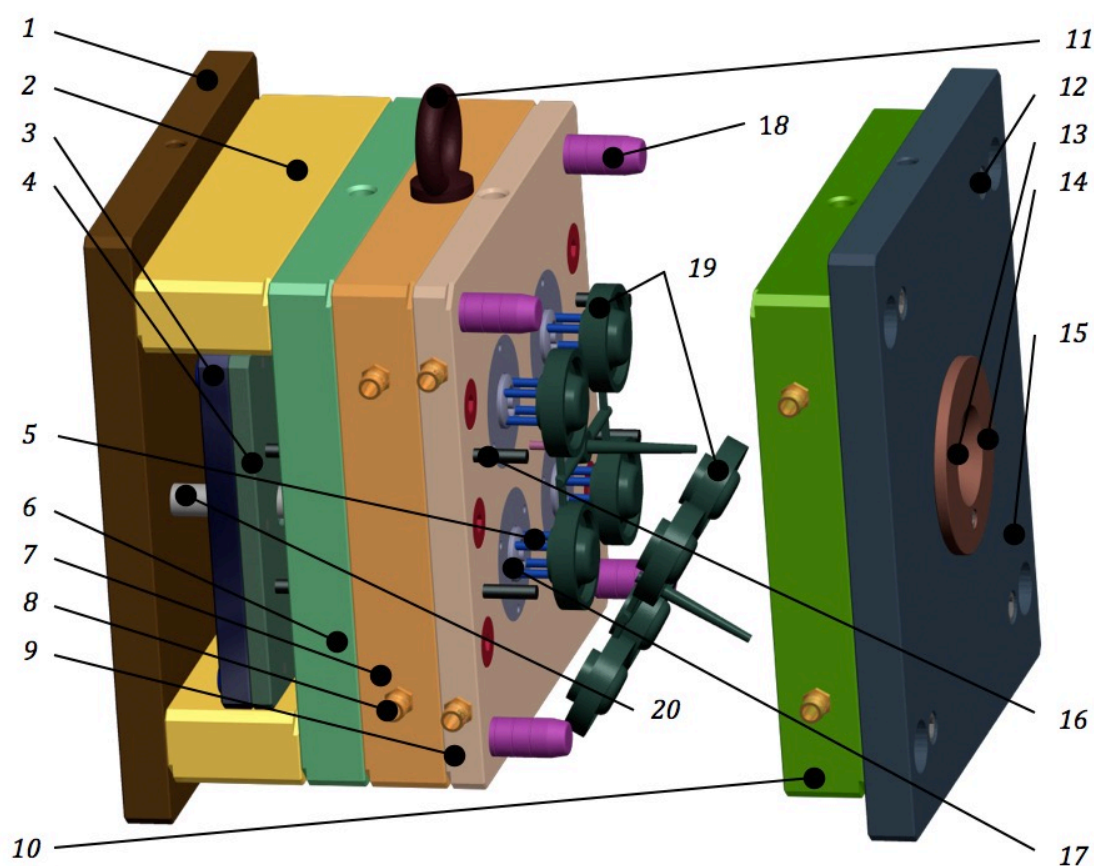
Forma musí odolat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky v přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Její výroba je náročná na finanční náklady a technické znalosti. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovaného plastu, na složitosti výrobku a jeho velikosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti, odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně atd. Důležitým faktorem při konstrukci formy je stanovení rozměrů a tolerancí tvarových částí a to z důvodu smrštění výrobku a tolerance rozměrů výrobku.

Vstřikovací formy lze rozdělit do následujících skupin:

- Podle násobnosti
 - jednonásobné, vícenásobné
- Podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení
 - dvoudeskové, tříděskové, etážové, čelist'ové, vytáček, speciální
- Podle konstrukce vstřikovacího stroje
 - střík kolmo na dělicí rovinu, střík do dělicí roviny
- Podle materiálu
 - pro termoplasty, reaktoplasty, elastomery
- Podle technologie vstřikování
 - GIT, WIT, vstřikování sendvičů atd.

Na obrázku 2.5 je ukázka základní skladby dvoudeskové vstřikovací formy. Forma se skládá z desek vzájemně spojených nejčastěji pomocí šroubů s válcovou hlavou. Následují desky „A“, „B“ a „C“, které vytvářejí dutinu vstřikovací formy (tvárník, tvárnici), která formuje vstřikovaný díl. Dutina může být v těchto deskách přímo vytvořena, nebo mohou desky sloužit k ukotvení vložek, ve kterých je dutina vytvořena.

Obrázek 2.6 zachycuje dvoudeskovou formu z obrázku 2.5 v otevřené pozici a s vysunutým vyhazovacím systémem. K otevření formy dojde po teprve po ztuhnutí taveniny plastu, kdy je plast připraven k odformování (vyjmutí z formy). Aby bylo možné díl odformovat, je nezbytné, aby forma byla otevřena natolik, aby po vysunutí vyhazovacího systému bylo možné díl bezpečně odebrat z formy. Před vyjmutím dílu z otevřené formy byl výrobek spojen pomocí třecích sil s pevným jádrem vstřikovací formy. Jedná se o vícenásobnou formu tzv. čtyřnásobnou. To znamená, že jsou zaformovány v jednom vstřikovacím cyklu čtyři díly najednou. Vícenásobného zaformování se užívá zejména z ekonomických důvodů.



Obrázek 2.6: Otevřená dvoudesková vstřikovací forma [11]

- 1 - upínací deska pohyblivé části formy
- 2 - rezpěra
- 3 - hlavní vyhazovací deska
- 4 - přidržovací vyhazovací deska
- 5 - vyhazovač
- 6 - podpěrná deska
- 7 - „B“ deska
- 8 - přípojka chlazení
- 9 - „C“ deska
- 10 - „A“ deska
- 11 - manipulační oko
- 12 - hlavní montážní šrouby
- 13 - vtoková soustava
- 14 - středící kroužek pevné části formy
- 15 - upínací deska pevné části formy
- 16 - vracecí kolíky
- 17 - pevné jádro
- 18 - vodící sloupky
- 19 - vstřikovaný díl
- 20 - podpěrné válce

Forma na obrázku 2.5 a 2.6 se nazývá dvoudesková z důvodu, že do styku s tavenou přicházejí v podstatě dvě desky. Další nedílnou součástí vstříkovací formy jsou středící kroužky na pevné a pohyblivé části vstříkovací formy. Ty slouží k zajištění přesné polohy vstříkovací formy na vstříkovacím stroji. Hranice mezi pevnou a pohyblivou částí vstříkovací formy se nazývá dělicí rovinou. Ta musí být zvláště pečlivě vyrobena, aby nedocházelo k netěsnostem dutiny vstříkovací formy.

Kvalitu výrobku a jeho jakost, případnou produktivitu výroby, nejvíce ovlivňuje vtokový systém. Vtokový systém je množství kanálů a ústí vtoku, které zajišťují správné plnění dutiny vstříkovací formy, snadné oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je konstruována podle mnoha specifik, jako je počet tvarových dutin, zda se jedná o studený nebo horký rozvod, závisí na tvaru výrobku. Má také obrovský vliv na konečný výrobek. Zejména na orientaci makromolekul, studené spoje, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, vzhled povrchu výrobku atd.

Pro co nejrychlejší vstříkovací cyklus je nezbytné, aby vstříknutá tavenina do dutiny formy ztuhla co nejrychleji. Proto je nedílnou součástí vstříkovací formy temperační systém. Temperační systém je systém kanálů a dutin, který umožňuje přestup a prostup tepla z taveniny do vstříkovací formy a temperační kapaliny, čímž se díl ochlazuje. Teplota formy se na požadované teplotě pomocí chladicího média, nejčastěji vodou, které protéká právě soustavou kanálů a dutin. Vzhledem k požadovaným vlastnostem výstřiku bývá temperační systém rozdělen do několika okruhů, aby bylo možné řídit ochlazování v různých místech vstříkovací formy. Vždy je lepší použít větší počet malých kanálů, než naopak. Celková délka kanálu by pak měla být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a na výstupu nebyl větší jak 3 až 5 °C.

Další součástí vstříkovací formy jsou mechanismy pro odformování (vyjmutí) výstřiku. Nejčastějším způsobem je mechanické odformování pomocí vyhazovacích kolíků, pomocí stíracích desek nebo jejich kombinace.

Velmi důležitou součástí vstříkovací formy je také její odvzdušnění. Při vstříknutí taveniny do dutiny vstříkovací formy dochází k tomu, že tavenina před sebou tlačí vzduch, který po uzavření formy v dutině zůstal. Přestože velké množství vzduchu unikne přes dělicí rovinu nebo vodícími plochami vyhazovačů či jader, musí být většina vstříkovacích forem navíc opatřena odvzdušňovacím systémem - odvzdušňovacími kanály. Tyto kanály musejí být navrženy tak, aby nedošlo k poškození výrobku. [9][11]

3. Možnosti odformování/vyhození plastových dílů

Pojmem odformování je míněno vyhození již ztuhlého dílu z dutiny vstřikovací formy. Aby mohlo proběhnout odformování, musí být forma dostatečně otevřena. Následně dojde k činnosti vyhazovacího systému, který díl z dutiny pohyblivé části vstřikovací formy odformuje. V případě složitějšího výrobku je nezbytné, aby před nebo při otevření formy, došlo k odsunutí všech jader a tvarových dílů, které tvoří tvary výsledného výrobku.

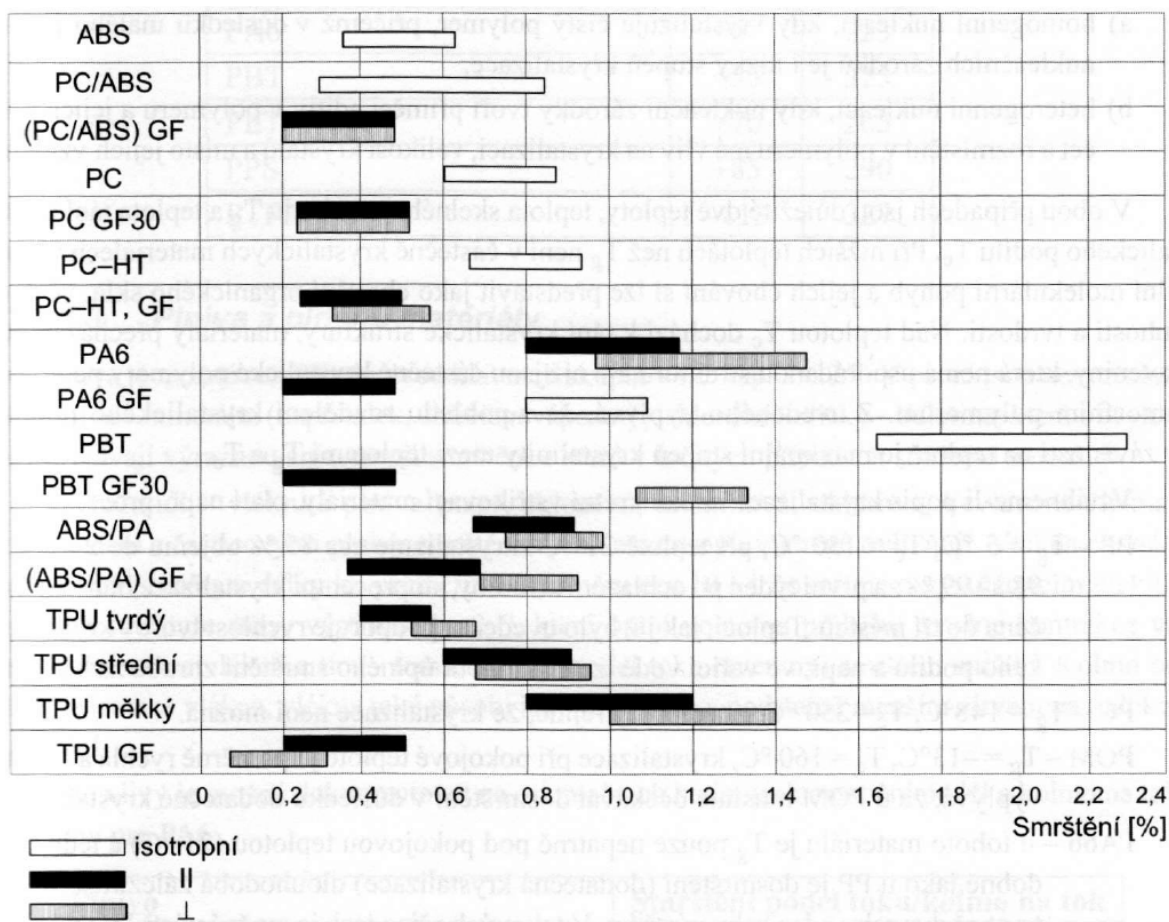
3.1. Vliv materiálu na odformování

Z hlediska materiálu se nejvíce uplatňuje typ plastu a jeho smrštění, protože během chlazení výrobku v dutině formy dochází ke změně objemu (smrštění).

3.1.1. Smrštění

Jedním z nejdůležitějších materiálových vlastností pro odformování daného dílu je jeho smrštění. Smrštění se vyskytuje u všech druhů plastů.

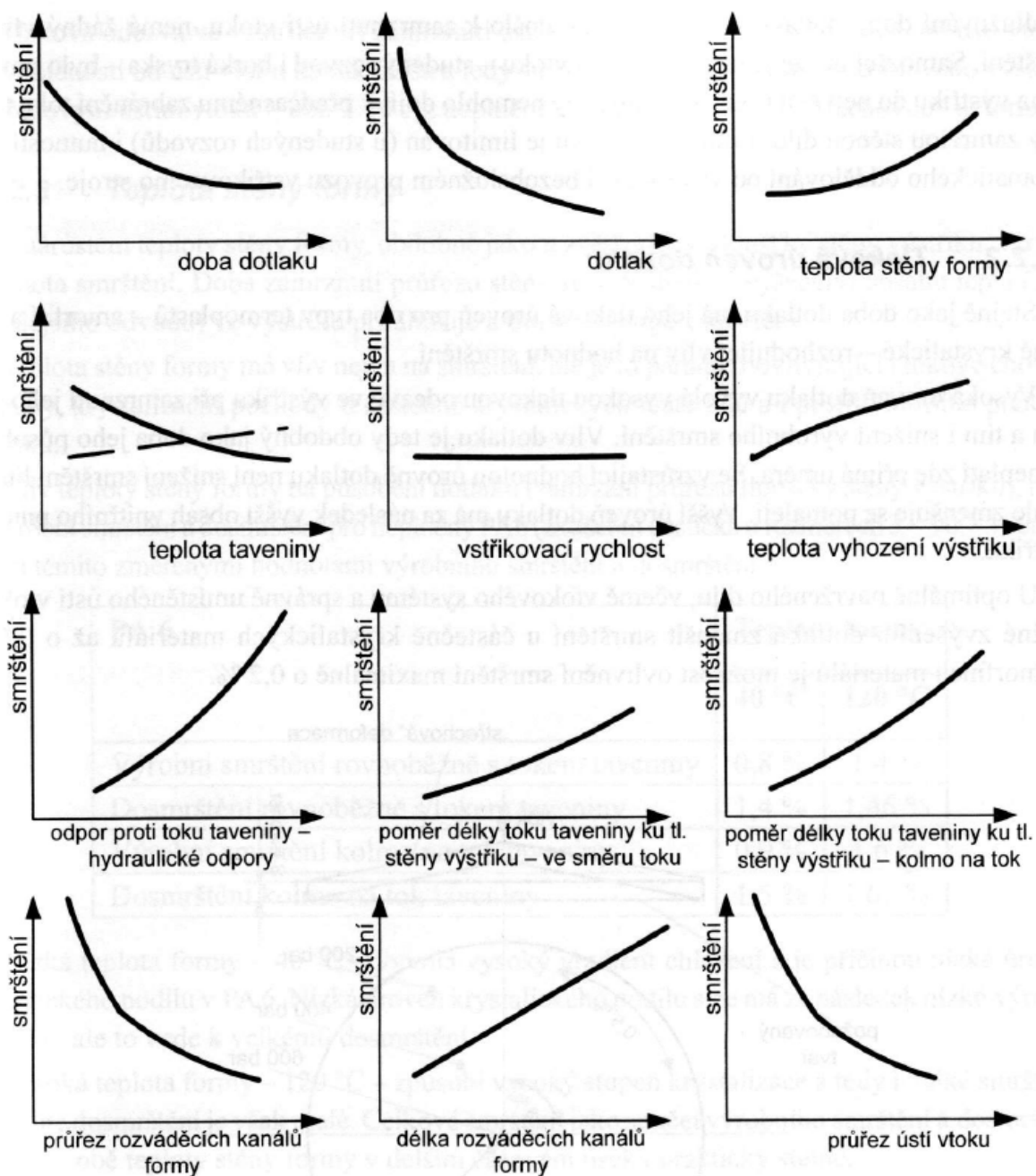
Smrštění je objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin, jejíž základní příčinou je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů, u částečně krystalických plastů ještě přistupují změny během krystalizace. Smrštění z hlediska materiálu je uvedeno na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Rozsah smrštění pro vybrané typy amorfních a částečně krystalických plastů [12]

Pro úplnost je ještě třeba dodat, že na změnu objemu plastu má vliv i navlhavost a nasákavost termoplastů, což je vratný děj.

Základním požadavkem všech uživatelů výstřiků z termoplastů je, že vyrobený díl musí mít požadované rozměry, definované jmenovitou hodnotou a tolerancemi, jak rozměrovými, tak i tolerancemi tvaru a polohy. Z toho plyne, že tvarová dutina vstřikovací formy musí být o příslušné smrštění v daném místě větší. Samozřejmě mají vliv na výsledné smrštění i procesní parametry (teplota, tlak, čas), typ plastu (amorfní, částečně krystalické, plněné, neplněné atd.) a konstrukce výstřiku. Smrštění z pohledu technologických parametrů vstřikování je souhrnně uvedeno na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [12]

U neplněných částečně krystalických materiálů je smrštění obvykle větší než 1 %. U materiálů plněných, zejména pak vyztužujícími plnivý, platí závislost anizotropie na obsahu plniva. Smrštění je u těchto plastů závislé na orientaci plniva a makromolekul, a proto mají tyto materiály vyšší tendenci k deformacím. Příklad smrštění PA6 a PA66 v podélném a kolmém směru na tok taveniny je uveden v následující tabulce 3.1

Tabulka 3.1: Rozdílné smrštění podle druhu plniva podél a kolmo na tok taveniny [12]

Plnivo PA6	Smrštění podél toku [%]	Smrštění kolmo na tok [%]
Bez plniva	1,0	1,2
Minerální plnivo	1,2	1,2
30 % skelných vláken	0,2	0,8
15 % balotina / 25 % skelných vláken	0,3	0,9
Typ PA66		
PA66 15 % SV	0,55	1,38
PA66 25 % SV	0,42	1,34
PA66 30 % SV	0,35	1,22
PA66 35 % SV	0,35	1,20

Z tabulky 3.1 je patrné, že u PA6 s použitím skelných vláken je možné docílit snížení smrštění o 50 až 80 % oproti neplněným materiálům, avšak za cenu výrazné anizotropie. Naopak u PA66 můžeme vidět, že obsah plniva nad 25 % skelných vláken již nemá na smrštění výrazný vliv. [12][13]

3.1.2. Vazba mezi plastem a kovem

Dalším parametrem ovlivňující odformování výrobku je vazba (afinita) mezi plastem výrobku a kovem vstřikovací formy viz tabulka 3.2.

Tabulka 3.2: Doporučené drsnosti povrchu funkčních ploch jednotlivých součástí vstřikovacích forem [13]

Druh součásti (náročnost povrchu)	Druh plastu	Drsnost Povrchu [Ra]
Tvářecí součásti (plochy vzhledově náročné, funkční ve směru vyjímání výlisku)	PS	0,025 – 0,05
	PS-HI, CA, PA	0,05 – 0,10
	PE	0,4 – 0,8
	PP	0,05 – 0,2
Tvářecí součásti (plochy vzhledově nenáročné)	PS	0,2 – 0,4
	PS-HI, CA, PA	0,4 – 0,8
	PE, PP	1,6
	PE	1,6 – 3,2
Ostatní součásti forem:		
Kanály vtokové soustavy	-	0,1 – 0,2
Kluzné plochy vyhazovačů a ostatní kluzné plochy	-	0,2
Povrch přímých dělicích rovin	-	0,4
Středící kroužky, klíny a lícované plochy bez pohybu, dosedy	-	0,8
Uložení H7 nepohyblivé spojení	-	1,6
Uložení H7 pohyblivé spojení	-	0,2 – 0,4
Vnější nefunkční plochy	-	12,5 - 25

Povrch vstřikovací formy se často zanáší uvolněnými zplodinami ze vstřikovacího procesu a dalšími nečistotami jako je prach, zbytky mazacích prostředků nebo degradovaný materiál. Výsledkem je pak neshodný díl a případný zmetek. Je tedy třeba povrch čistit a zabránit tak případné reklamaci nebo např. korozi. Způsoby odstranění nečistot jsou následující: mechanické, chemické, tryskání (např. suchým ledem), fyzikální (např. ultrazvukové, laserové a tepelné).

Tvarové dutiny vstřikovacích forem respektive jejich plochy, by měli být navrženy tak, aby bylo možné díl co nejsnadněji odformovat. V případě, že tomu tak není, nebo jsou vstřikovány termoplasty s vysokou adhezí ke kovovému materiálu vstřikovací formy, (například PS, PMMA, PC/ABS) je možné použít tzv. separátor. Máme dvě hlavní skupiny separačních prostředků a to na bázi silikonu (5 – 250°C) nebo bez (rozpustné oleje až do 300 °C).

V neposlední řadě z hlediska odformování je důležitá drsnost povrchu dutiny vstřikovací formy viz tabulka 3.3. Vstřikovací forma, respektive její dutina, může mít různé druhy povrchů a to podle svého účelu např. leštěné, desénované nebo upravené pro dobré vyjmutí výrobku ze vstřikovací formy. Vliv technologie obrábění na konečnou drsnost je uveden v tabulce 3.4. [13][12][14]

Tabulka 3.3: Drsnost povrchu u obráběných dutin forem [13]

Drsnost [Ra]	Obrobená a požadovaná jakost povrchu
0,05	Nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracovaným a vysokým leskem
0,1	Tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	Tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	Tvárníky a tvárnice s matným povrchem opracování
0,8	Opracování tvárníků a tvárníc u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	Opracování tvárníků a tvárníc méně náročných forem a dosedacích ploch

Tabulka 3.4: Tabulka přesností a drsností podle použité technologie [13]

Způsob obrábění	Stupeň přesnosti IT								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lapování	0,05	0,1							
Hoblování	0,05	0,1							
Broušení do kulata Bezhrtové broušení	0,1	0,2	0,2-0,4	0,4	0,4	0,8			
Broušení děr		0,2	0,4	0,4	0,4				
Broušení na plocho obvod.		0,2	0,4	0,4	0,4-0,8				
Broušení na plocho čelní			0,2	0,4	0,4	0,4-0,8			
Vyvrtání diamantovým nástrojem		0,2	0,4	0,4					
Vyvrtávání			0,8-1,6	1,6	1,6	3,2			
Protahování			0,4	0,8	0,8	1,6			
Vystružování				0,8	0,8	1,6		3,2	
Soustružení				0,8-1,6	0,8-1,6	0,8-1,6	3,2	3,2	6,6-12,5
Frézování čelní a válcovou frézou					1,6	3,2	3,2	3,2	6,3-12,5
Frézování drážek					1,6	3,2	6,3	6,3-12,5	
Hoblování					3,2	3,2	3,2-6,3	6,3-12,5	6,3-12,5
Předvrtání a odvrtání							6,3-12,5	12,5	
Vrtání v přípravku							6,3-12,5	12,5	12,5

3.2. Vliv konstrukce dílu na odformování

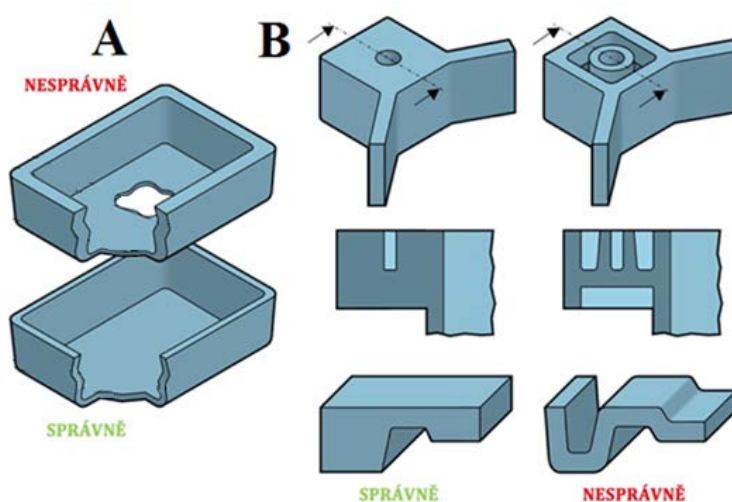
Konstruktor výrobku by při navrhování výrobku měl úzce spolupracovat s konstruktérem vstřikovací formy, aby vůbec bylo možné díl vyrobit a vyhodit (odformovat). Základní aspekty ovlivňující odformování konečného výrobku s hlediska konstrukce dílu jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

3.2.1. Tloušťka stěny

Jedním z faktorů, které ovlivňují odformování je tloušťka stěny. Tloušťka stěny ovlivňuje mnoho vlastností výrobku, jako jsou mechanické vlastnosti, vzhled, zpracovatelnost, hmotnost, doba chlazení a další. Například u většiny amorfních plastů, při zvětšení tloušťky stěny o 10 % dojde ke zvýšení tuhosti přibližně o 33 %. Na druhou stranu zvětšení tloušťky stěny způsobuje zvýšení hmotnosti, náklady na materiál a prodloužení doby cyklu vstřikování. Pro návrh tloušťky stěny z pohledu odformování by se měl konstruktor držet následujících pravidel:

- Tloušťka stěny by měla být co nejvíce rovnoměrná
- Minimální výskyt toho že, nižší tloušťka stěny sousedí s vyšší tloušťkou stěny
- Přechody tloušťky musí být plynulé
- Vnější radiusy o jednu tloušťku stěny větší než vnitřní radiusy

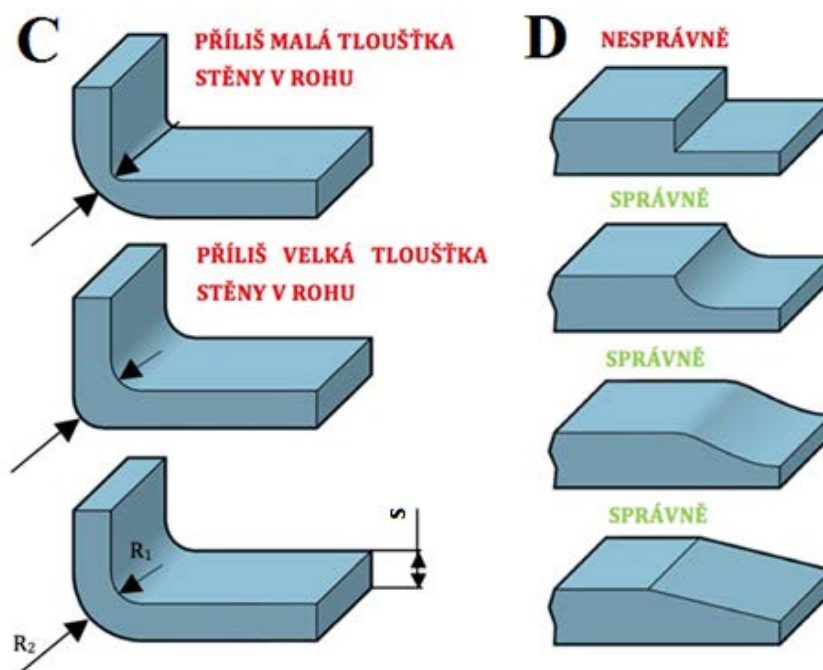
Příklady výše zmíněných pravidel jsou na obrázcích 3.3 a 3.4.



Obrázek 3.3: Pravidla pro konstrukci tloušťky stěny plastového výrobku [11]

Vliv nerovnoměrné tloušťky stěny (A)

porovnání nesprávného a správného návrhu dílu s ohledem na rovnou tloušťku stěny (B)



Obrázek 3.4: Pravidla pro konstrukci tloušťky stěny plastového výrobku [11]

Porovnání vnitřních a vnějších radiusů vstřikovaného dílu (C)

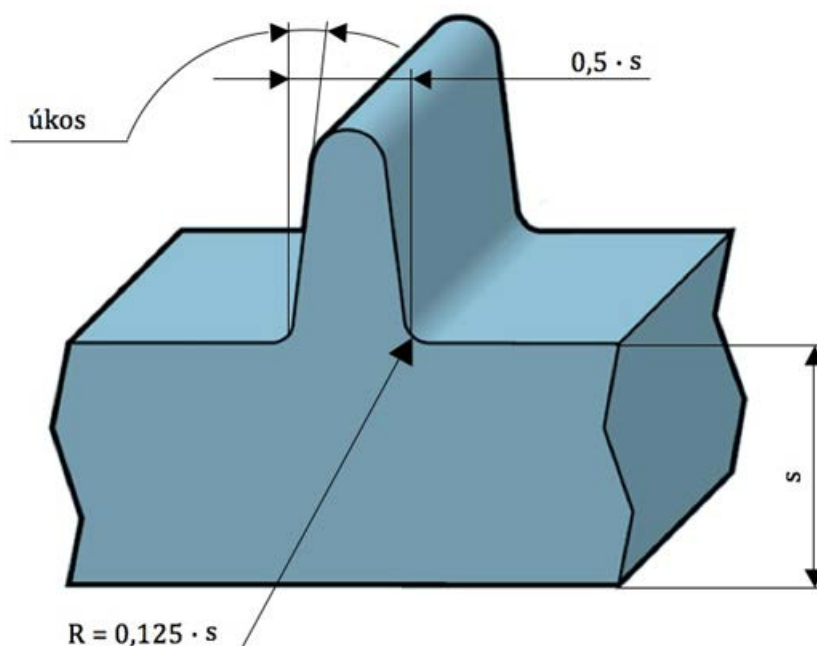
Přechody různých tlouštěk stěny (D)

Amorfni či plněné plasty většinou umožňují změnu tloušťky o cca 25 % bez větších negativních vlivů. Oproti tomu tloušťku neplněných semikrystalických plastů, z důvodu většího smrštění, lze změnit pouze o 10 – 15 %. [11]

3.2.2. Žebra

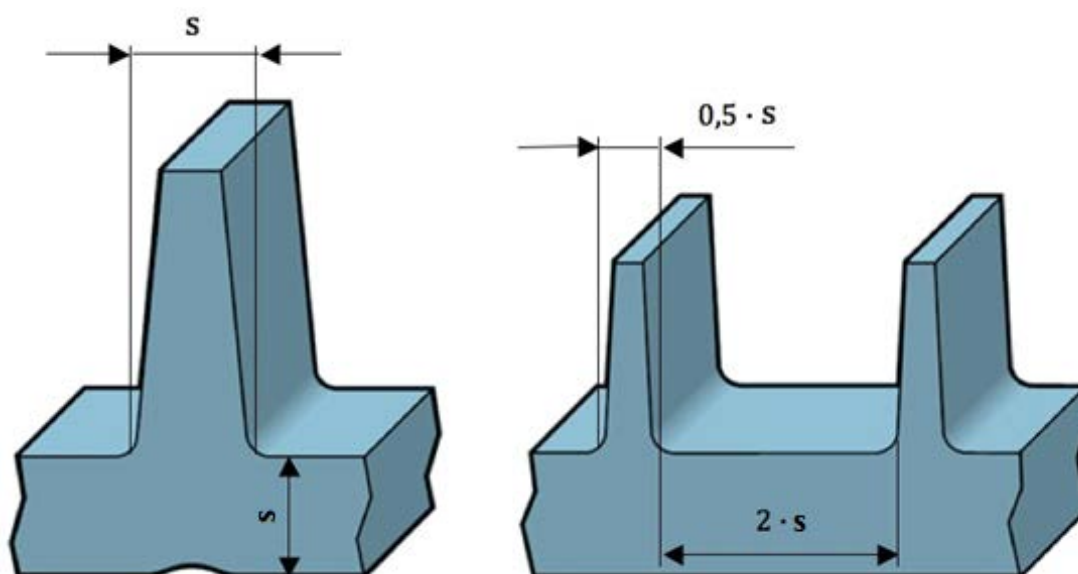
Konstrukce žebër umožňuje dosáhnout vyšší pevnosti a tuhosti vstřikovaného dílu a to bez nutnosti zvětšení tloušťky stěny. Na druhé straně z hlediska odformování jsou žebra nepříznivá.

Pro snadnější odformování jsou žebra většinou ve formě vytvořena jako „slepé otvory“ ve směru otevírání vstřikovací formy s doporučeným úkosem. Detail žebra a úkosu je uveden na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: Základní rozměry žebra [11]

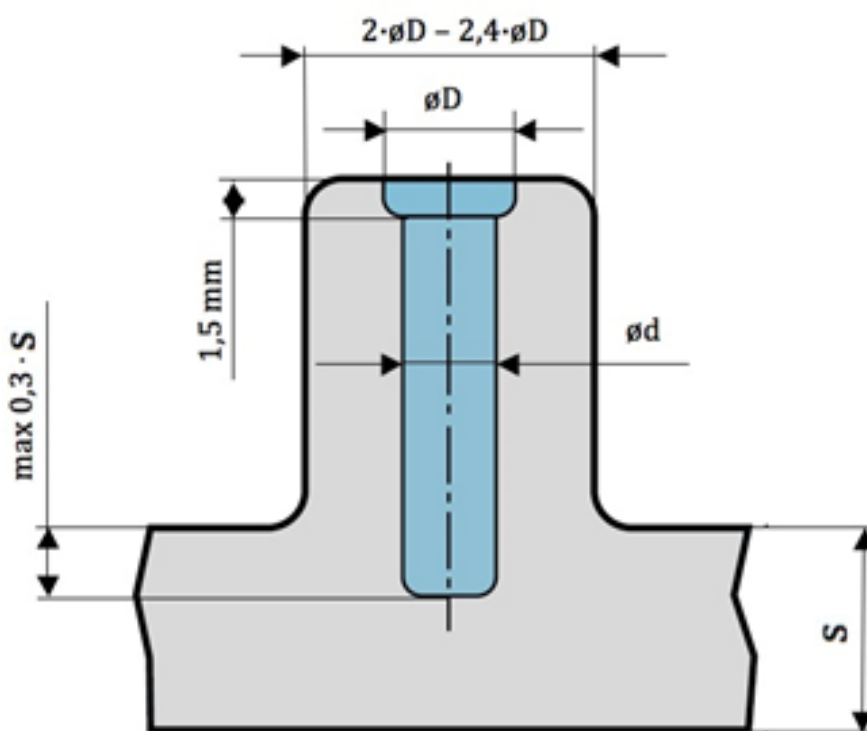
Vyšší žebra mají vyšší vyztužující účinek, ale zároveň by výška žebra neměla překročit trojnásobek své tloušťky. Čím vyšší žebro, tím vyšší úkos. V případě vysokého žebra by mohlo docházet ke zúžení žebra na jeho konci a proto je lepší navrhnout díl s větším množstvím malých žebírek než naopak. Vysoká žebra a velký počet žebírek mají ovšem vliv na odformování a proto je z hlediska odformování zapotřebí dodržet minimální vzdálenost mezi sousedními žebry a to dvojnásobek tloušťky stěny (obrázek 3.6). [11]



Obrázek 3.6: Nahrazení vysokého žebra dvěma nižšími [11]

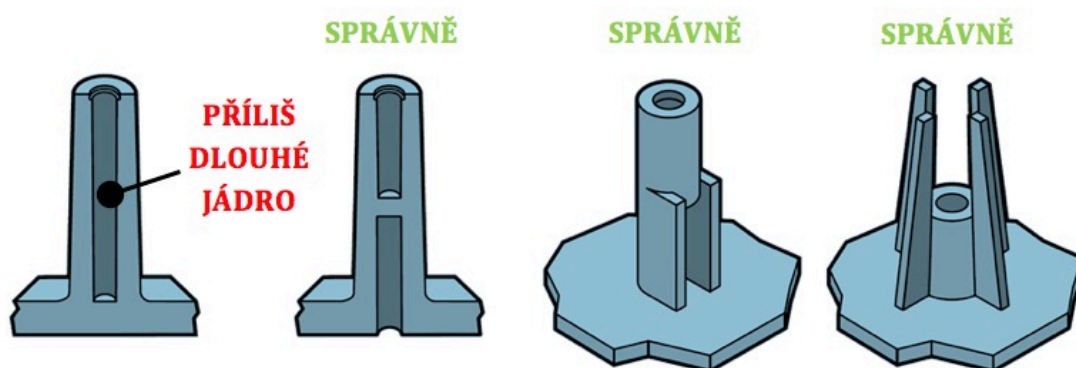
3.2.3. Výstupky

Výstupky slouží na plastovém díle k připojení anebo k montáži jiného komponentu. Většinou jde o válcovitý tvar s vnitřním otvorem navrženým tak, aby do něj bylo možné našroubovat nebo nalisovat příslušný spojovací prvek jako je šroub, vložka, spona. Stejně jako žebrování i výstupky mají svá pravidla pro snadné odformování, aby při vyjmutí nedošlo k jejich porušení (výška, průměr, úkos). Rozměr vnějšího průměru výstupku by se měl pohybovat okolo dvou až dva a půl násobku průměru díry. (obrázek 3.7)

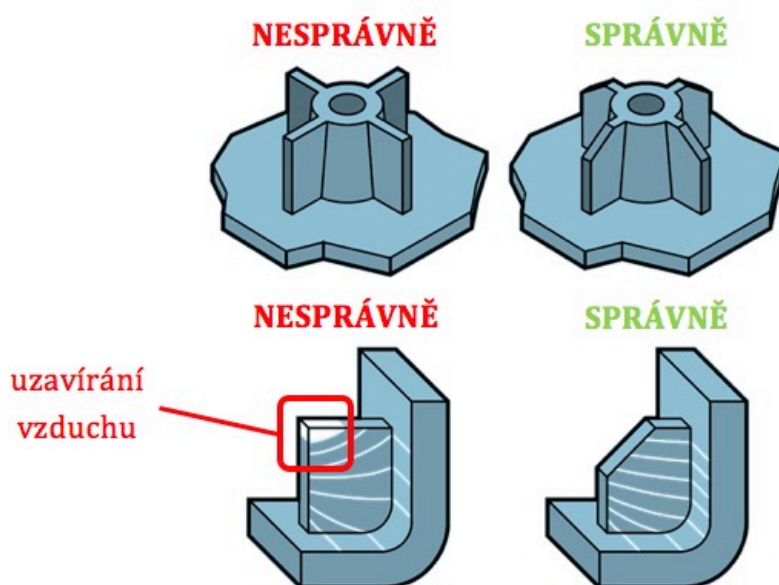


Obrázek 3.7: Doporučené rozměry výstupků [11]

Výstupky musí být, stejně jako žebrování, opatřeny úkosy. V případě výstupků může být problém s jejich odformováním, plněním dutiny a chlazením, což lze vyřešit dvoustranným komínkem nebo bočními výztuhami viz obrázek 3.8, 3.9. Vzhledem k odformování je třeba dbát při výrobě tvaru ve formě na povrch, který musí být řádně vyleštěn a opatřen úkosem. [11]



Obrázek 3.8: Alternativní řešení dlouhých komínek

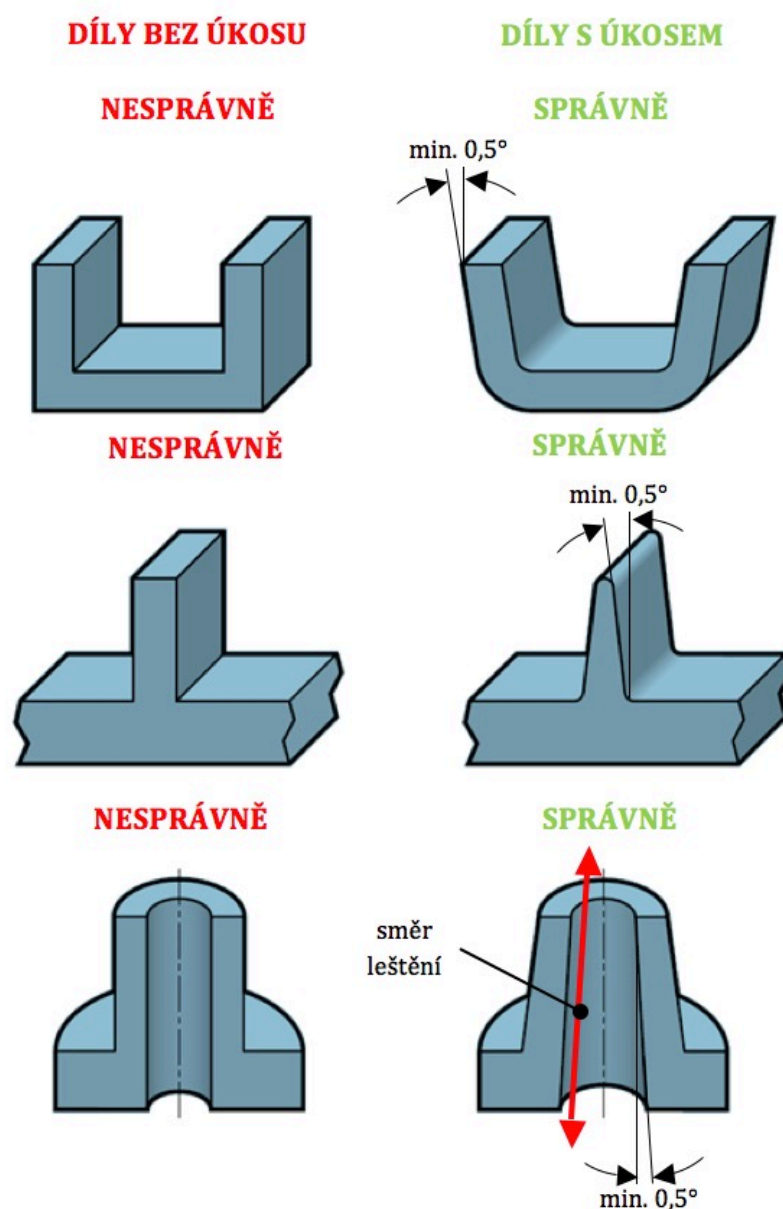


Obrázek 3.9: Výztuhy [11]

3.2.4. Úkosy

Pro odformování obecně platí, že by plastový díl neměl být opatřen ostrými rohy mimo dělicí rovinu. Obecně mají na úkos vliv následující faktory: povrchová úprava dutiny formy, typ plastu (polyuretany se lépe odformovávají z formy, která je zdrsňená), geometrie dílu a typ vyhazovacího systému. Každý plastový díl musí být opatřen úkosy, aby nedošlo k jeho poškození během odformování, nebo vůbec bylo odformování možné. Prvky dílu tvořené slepými otvory jako například komínky, žebra či výztuhy se zužují směrem ke svému konci. Další základní pravidla pro tvorbu úkosu jsou následující a jsou zobrazeny na obrázku 3.10:

- Úkosy na všech površích rovnoběžných se směrem odformování.
- Úkosy všech stěn a ostatních prvků, které jsou zaformovány v obou polovinách formy tak, aby bylo ulehčeno odformování.
- Standardní použití úhlu 1° plus úkos 1° na každých 0,2 mm hloubky dezénu povrchu dutiny formy, pokud je jím dutina opatřena.
- Minimální úkos $0,5^\circ$ pro většinu materiálů. (výjimku tvoří např. plasty na bázi SAN, které vyžadují minimálně $1^\circ - 2^\circ$ úkosu)



Obrázek 3.10: Doporučení pro návrh úkosů na plastovém dílu [11]

Menší úhel zvyšuje riziko poškození dílu při jeho odformování nebo je nutné použít speciálních povrchových úprav povrchu formy, pro jeho snadné vyjmutí. [11]

3.3. Vliv konstrukce formy na odformování

Odformování/vyhození vstřikovaného dílu z dutiny vstřikovací formy je zajištěno vyhazovacím systémem např. pro mechanické vyhození s vyhazovacími kolíky. Poté co je vstřikovací forma otevřena, zajistí doraz vstřikovacího stroje posuv vyhazovacího mechanismu do stanovené pozice a tím dojde k odformování výrobku. Po vyhození výrobku z dutiny formy dojde k opětovnému zavření formy a zasunutí vyhazovacího systému, nejčastěji za pomoci vraccích kolíků.

Aby vůbec došlo k odformování dílu, musí vyhazovací systém vyvodit vyhazovací sílu, která musí překonat tření mezi výrobkem a formou. Toto tření vyvolal tlak mezi formou a výstřikem způsobený smrštěním. Velikost této síly ovlivňuje mnoho faktorů, jako například:

- modul pružnosti v tahu při teplotě výrobku při vyhazování
- velikost smrštění
- drsnost tvarových ploch
- tvarová složitost

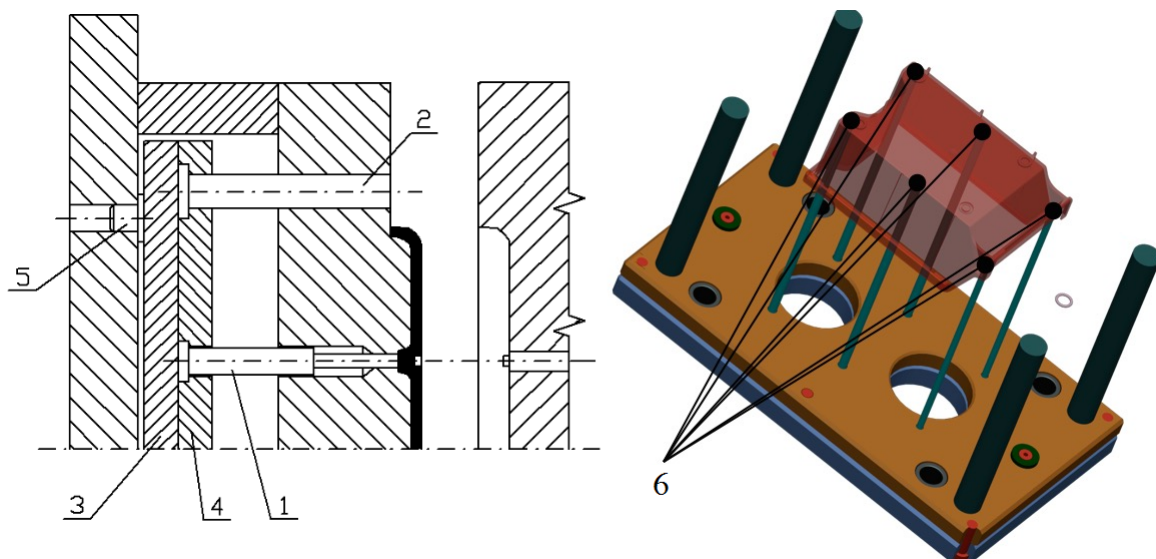
Způsoby odformování dle konstrukce lze rozdělit na:

3.3.1. Mechanické odformování

Jedná se o nejvíce používaný způsob odformování výstřiků a to buď pomocí vyhazovacích kolíků, pomocí stíracích desek nebo stíracích kroužků.

a) Vyhazovací kolíky

Jde o nejčastější a nejlevnější způsob vyhazování a to díky své jednoduchosti a funkčnosti. Používá se všude, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru odformování. Vyhazovací kolíky jsou většinou válcové a ve formě jsou nejčastěji v uložení H7/g6, H7/h6, H7/j6. Tyto tolerance umožňují také dostatečné od vzdušnění. Dále je nutné vhodné rozmístění vyhazovačů, které ve většině případů zanechávají stopu tak, aby nedošlo k deformaci dílu. Tyto stopy jsou buď dodatečně opraveny, nebo jsou vyhazovače umístěny do míst, kde stopa nevadí. Schéma vyhazovacích kolíků uložených ve formě společně s příkladem je na obrázku 3.11.

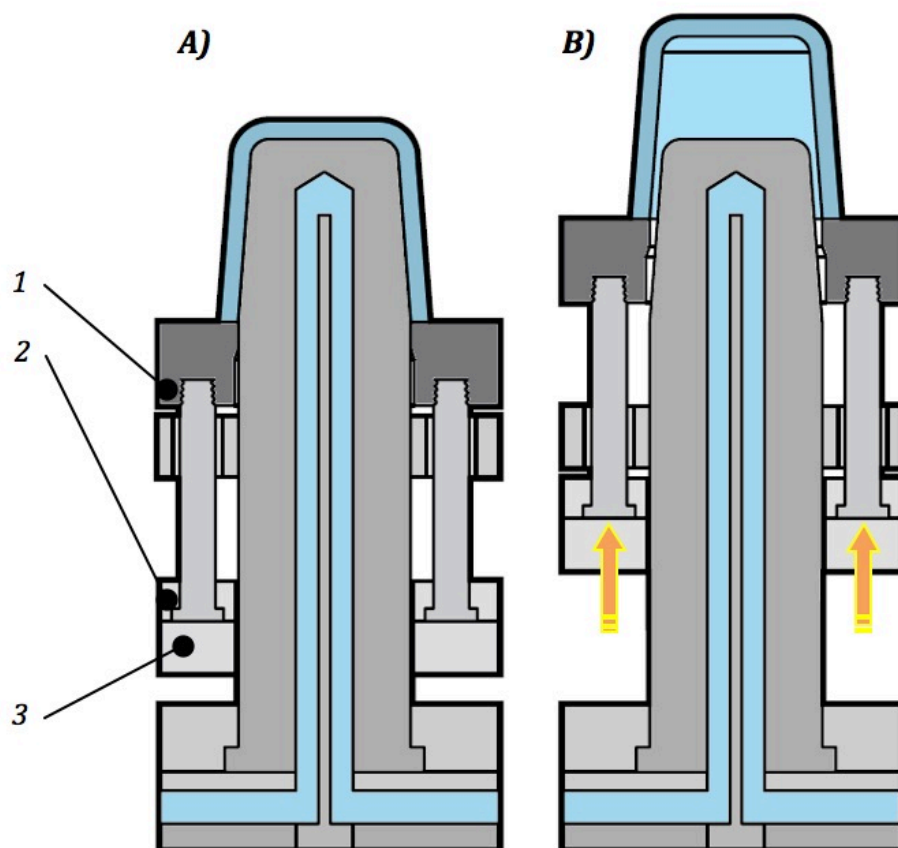


Obrázek 3.11: Vyhazovací systém + příklad vyhazovacího systému [11][13]

- 1 - vyhazovací kolík 2 - vratný kolík 3 - spodní deska vyhazovače
4 - horní deska vyhazovače 5 - narážka 6 - body umístění vyhazovačů na výstřiku

b) Stírací deska

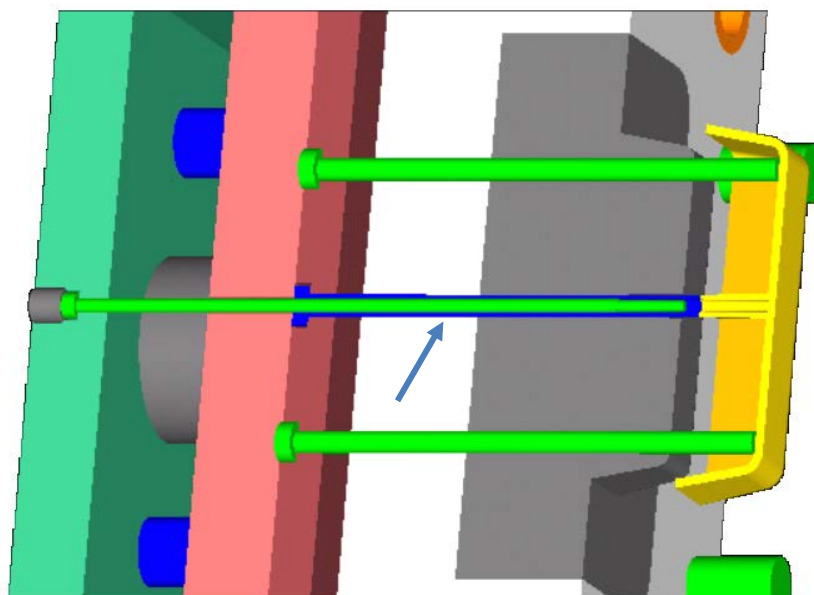
Princip stírací desky spočívá v setření výstřiku z tvarové části formy po celém jeho obvodu. Velká styková plocha umožňuje odformování tenkostěnných výrobků, kde by hrozila deformace dílu vyhazovači. Používá se také u odformování výstřiku, kde by vadila stopa po vyhazovači nebo tam, kde je potřeba velká vyhazovací síla. Stírací desky lze použít všude tam, kde výstřik se stírací deskou dosedá v dělicí rovině, případně mírně zakřivené ploše. Speciálním případem stírací desky je pak trubkový vyhazovač, který se užívá pro díly s malými vnitřními prostory. Princip stírací desky a trubkového vyhazovače je na obrázcích 3.12 a 3.13.



Obrázek 3.12: Princip stírací desky [11]

1 - stírací deska 2 - přídržovací stírací deska 3 - hlavní vyhazovací deska

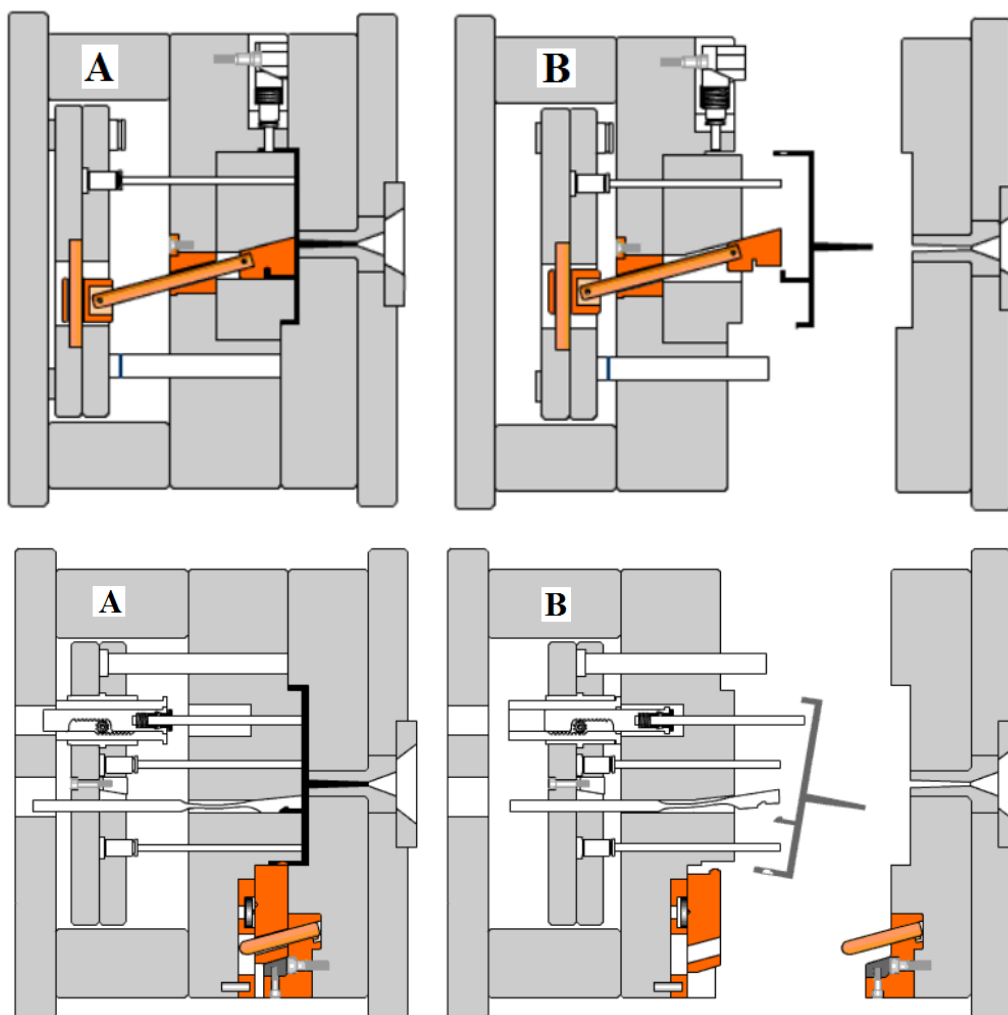
A - vyhazovací systém v zadní pozici B - vyhazovací systém v pohybu do přední pozice



Obrázek 3.13: Trubkový vyhazovač [15]

c) Šikmé odformování

Šikmé odformování je speciální způsob odformování, který využívá kolíky umístěné vůči dělicí rovině pod určitým úhlem. Využívá se u malých a středních výstřiků, které mají mělký vnitřní nebo vnější zápich. Příklad na obrázku 3.14.

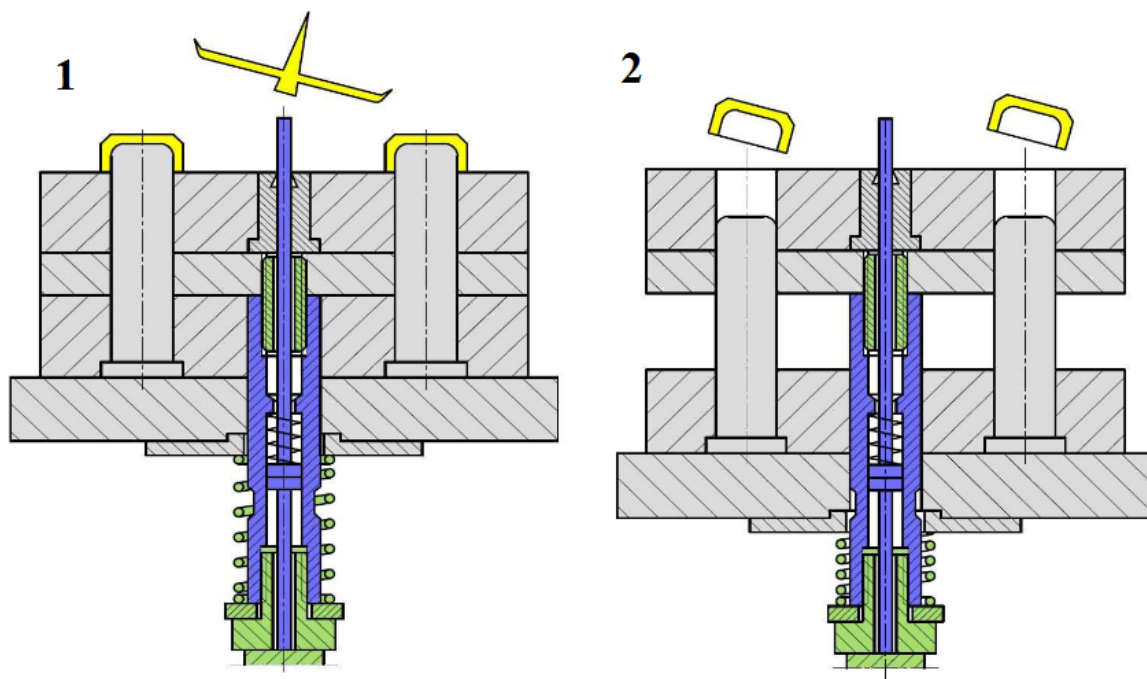


Obrázek 3.14: Šikmé odformování [16]

A - uzavřená forma B - pootevřená forma

d) Dvoustupňové odformování

Dvoustupňové odformování je kombinace dvou systémů, umožňující vyházovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho délky. Využívá se pro šikmé odformování výstřiků se zápichem nebo pro oddělení vtokového kanálu studeného vtoku jako je tomu na obrázku 3.15.



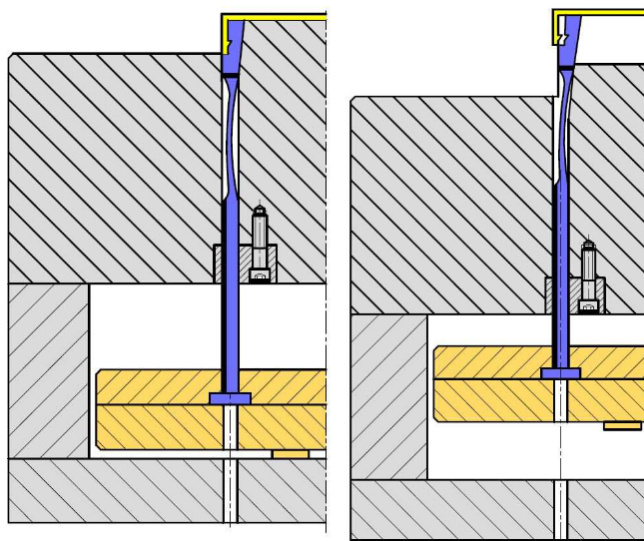
Obrázek 3.15: Dvoustupňové odformování [17]

1 - vyhození vtoku 2 - vyhození výrobku

e) Další způsoby mechanického odformování

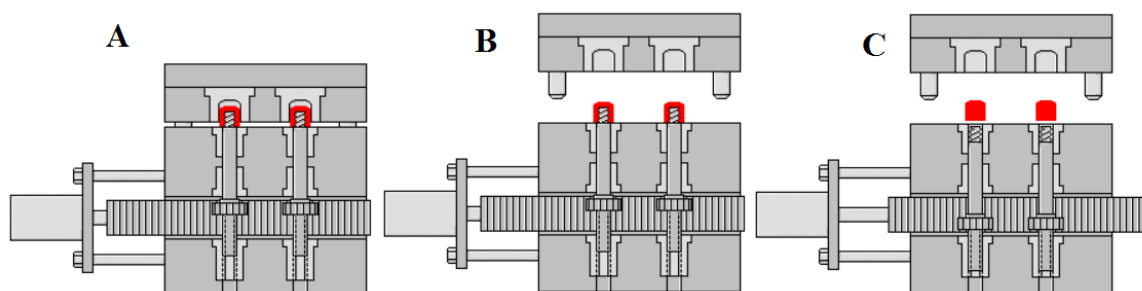
Odformovacích způsobů existuje nepřeborné množství a liší se podle druhu aplikace a podle konstrukce požadovaného dílu a formy. Ukázka pár nejpoužívanějších s příklady.

- Vyhazovač s podkosem – Vyhazovač je ve formě uložen deformačně do oblasti elasticity. Při zdvihu dojde k horizontálnímu posunutí horní části vyhazovače vůči vlastní středové ose. (obrázek 3.16)



Obrázek 3.16: Vyhazovač s podkosem [17]

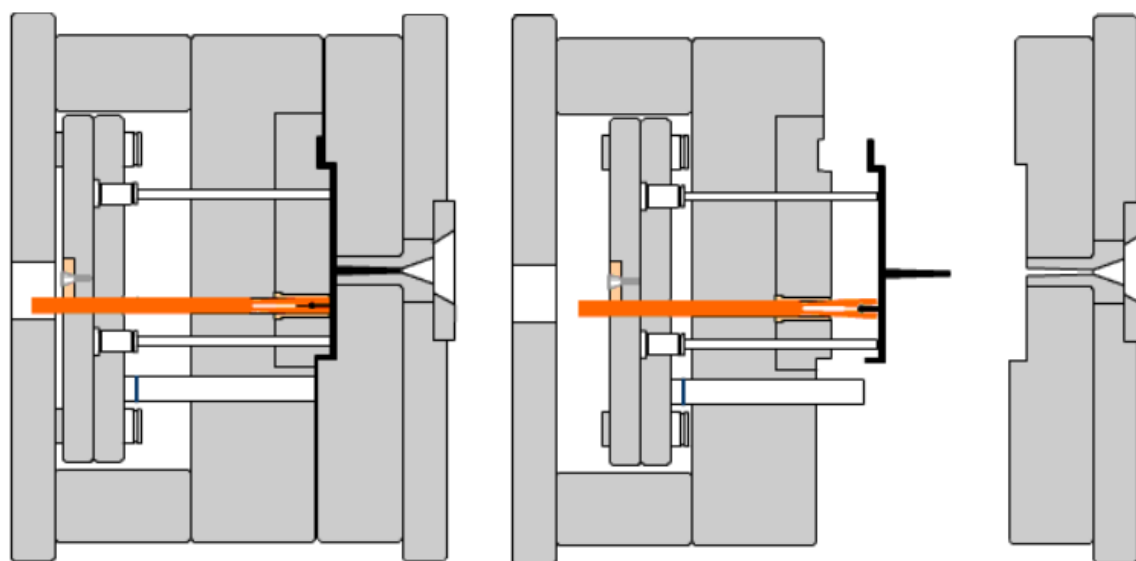
- Odformování závitu – Využívá se v případě odformování závitů například pomocí ozubených kol a hřebenů. (obrázek 3.17)



Obrázek 3.17: Odformování závitu [18]

A – zavřená forma B – otevřená forma C - odformovaný závit

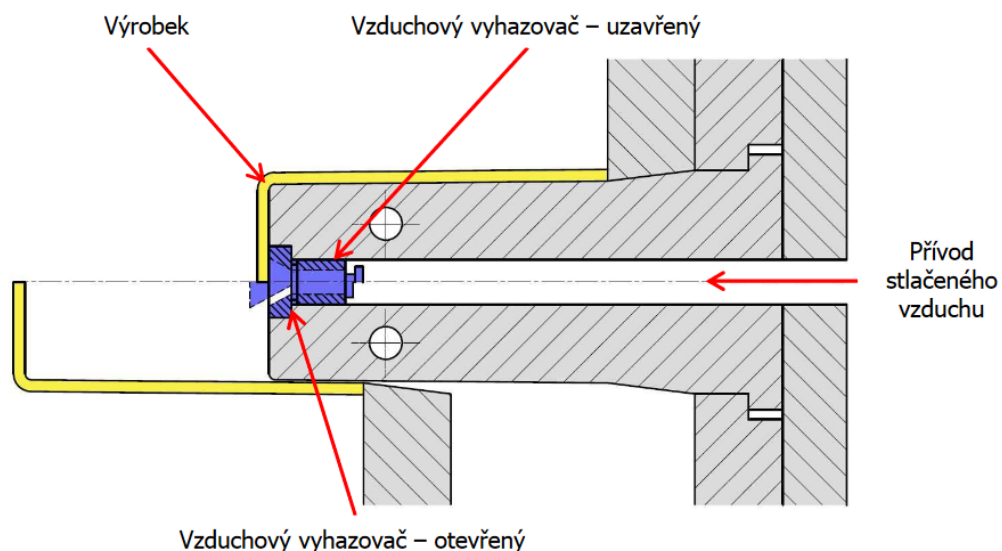
- Rozpínací trny – Jsou určeny pro výrobu závitů, malých osazení nebo nátrubků (obrázek 3.18). [13][11][17]



Obrázek 3.18: Rozpínací trny [16]

3.3.2. Pneumatické odformování

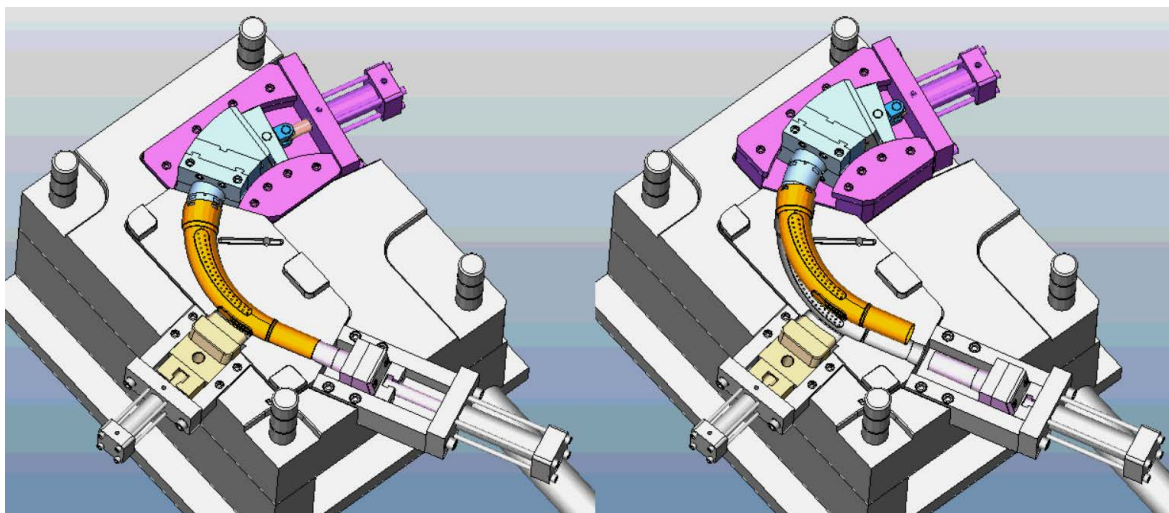
Pneumatického systému odformování se užívá v případech tenkostěnných výrobků větších rozměrů, většinou ve tvaru nádob, u kterých je při odformování problém s porušením nebo deformací. Využití může být jak podtlakového, tak přetlakového způsobu. Princip tohoto systému spočívá v přívodu/odvodu vzduchu do/z formy přes talířové, jehlové ventily nebo různé kolíky. Otevření ventilu je řízeno tlakem a zavření pomocí pružiny. Schéma vzduchového odformování je na obrázku 3.16. [11][13][17]



Obrázek 3.19: Činnost vzduchového odformování [17]

3.3.3. Hydraulické odformování

Hydraulické odformování je konstruováno jako separátní hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve vstřikovací formě a která ovládá mechanický vyhazovací systém. Příklad hydraulického odformování se nachází na obrázku 3.17. [13][11][17]



Obrázek 3.20: Hydraulické odformování [19]

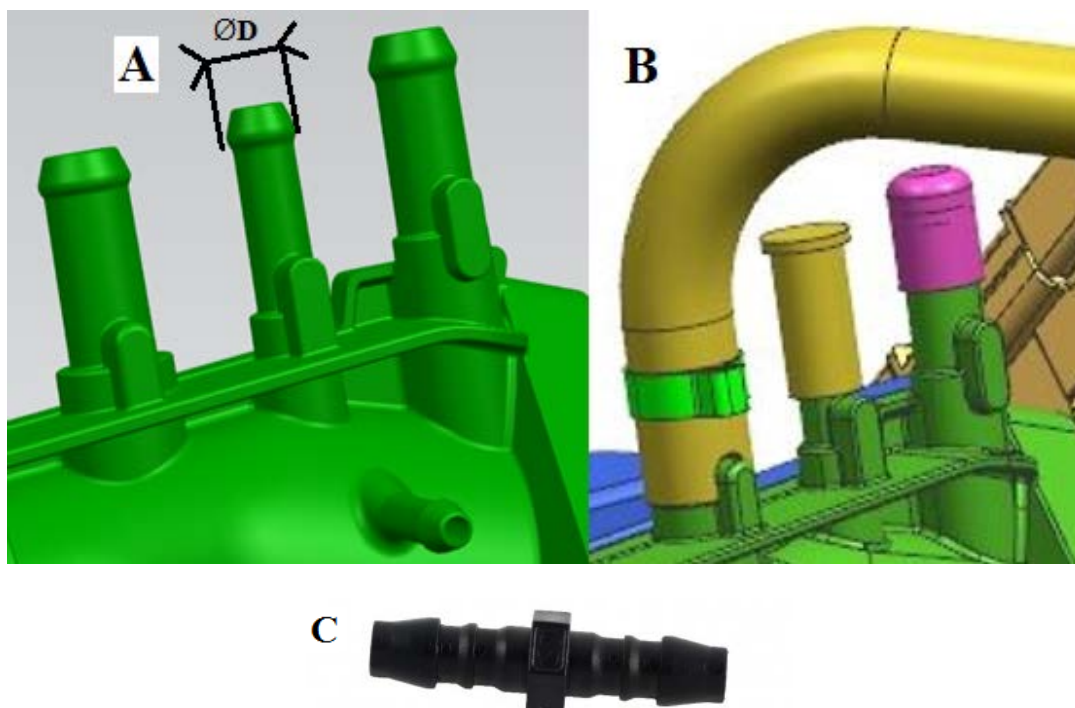
Levá – najetě hydraulické jednotky Pravá - uvolněné hydraulické jednotky

4. Experimentální část - odformování nátrubku na plastovém dílu

V experimentální části řeším úpravu konstrukce vstřikovací formy pro výrobu dílu společnosti RBCB, týkající se korekce tvaru a geometrie vložky pro odformování nátrubků včetně realizace a měření.

Nátrubek slouží na plastovém dílu k napojení elastomerní hadičky pro přenos média jako je plyn, tekutina. V praxi může nést další označení převzaté ze zahraničí stutzen (DE), pipe (EN). Příklad modelu nátrubku na obrázku 4.1. Při návrhu konstrukce dílu a konstrukce formy musí být kladen důraz na umístění nátrubku a to především vůči dělicí rovině. Podle toho se volí druh jeho odformování.

Nátrubek může být různých tvarů, např. do tvaru „komínku s bambulí“ nebo do tvaru „stromečku“. Hadička je na nátrubek navlečena a zajištěna nejčastěji kovovou sponou. Nejdůležitějšími rozměry na nátrubku jsou jeho vnitřní průměr (pro průtok média) a jeho největší vnější průměr (pro navlečení a držení hadičky) v obrázku 4.1 označen jako ØD, který by měl být o malinko větší, než zbytek průměru nátrubku.



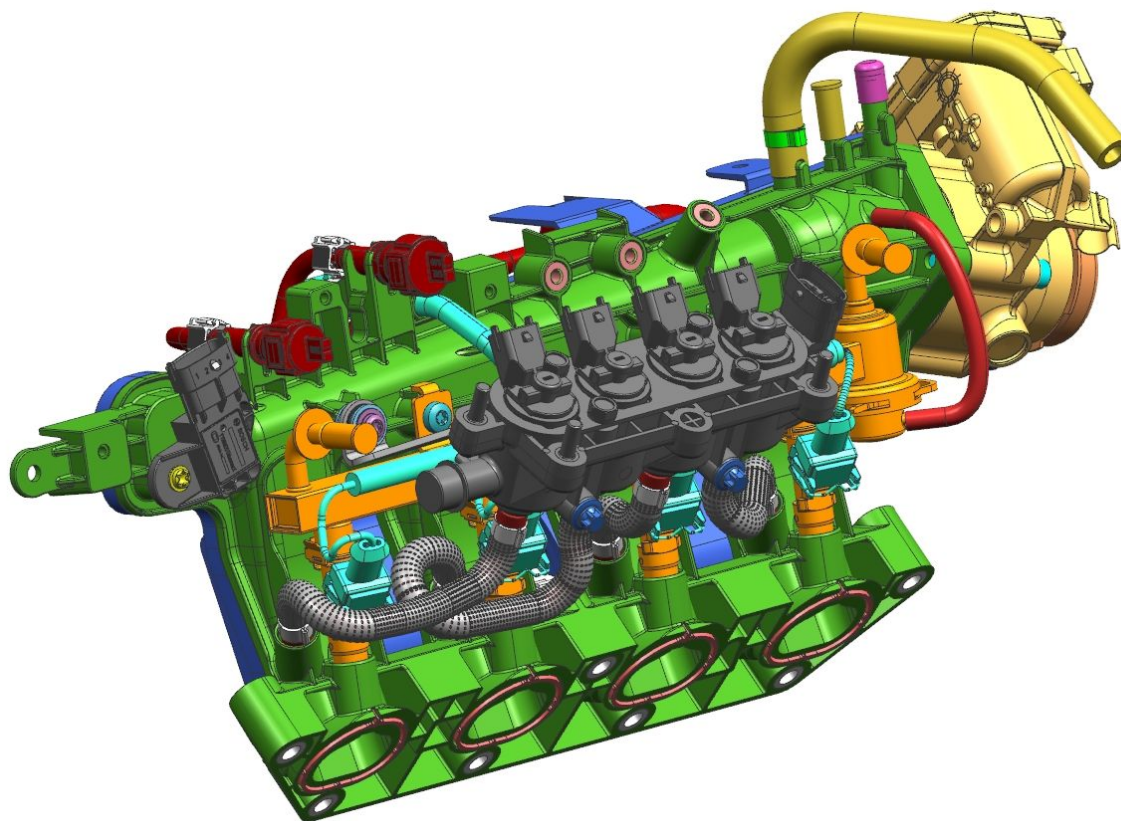
Obrázek 4.1: Příklad nátrubků na modelu [20]

A - samotné nátrubky B - po namontování hadičky s klipem a čepiček

C - stromečkový nátrubek

4.1. Současný stav

Výrobek společnosti RBCB (příklad na obrázku 4.2), který obsahuje nátrubky, je vyráběn standartní metodou vstřikování na hydraulickém horizontálním vstřikovacím stroji a následně smontován na montážní lince. Je vyroben z PA6-GF30. Jde o polyamid s 30% obsahem skelných vláken.



Obrázek 4.2: Díl společnosti RBCB obsahující nátrubky [20]

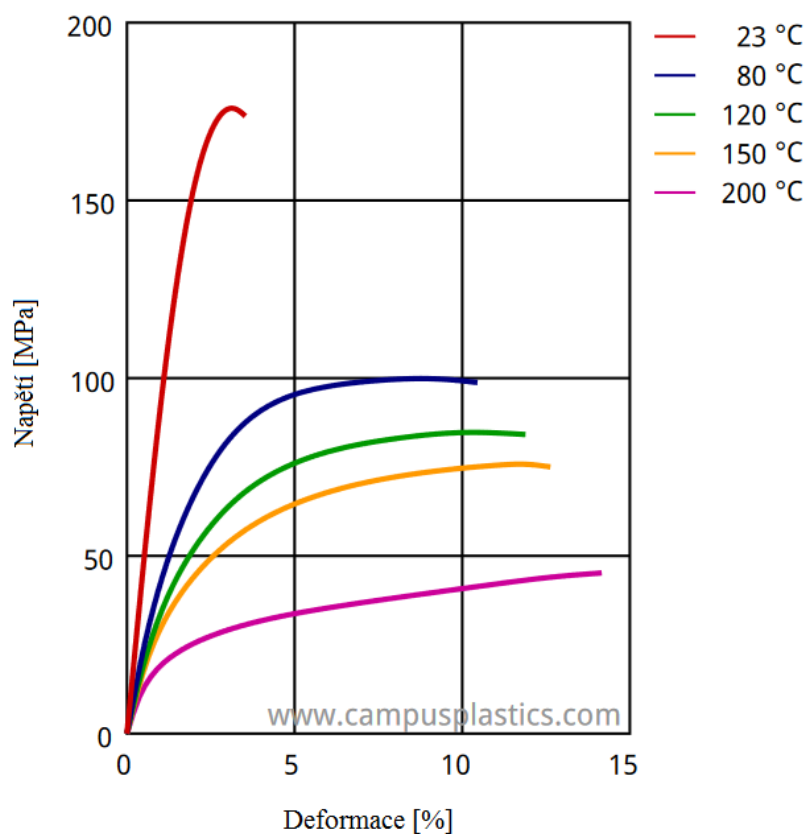
Polyamidy jsou semikrystalické termoplasty a jsou to jedny z nejpoužívanějších plastů v automobilovém průmyslu. Přijímají velmi snadno vodu jak při kontaktu tak z atmosféry (jsou navlhavé) a to z důvodu přítomnosti polárních atomů kyslíku a dusíku. Jejich výhodou je vysoká pevnost a vysoká teplota tání. Jejich již dobré mechanické vlastnosti se vylepšují přidáním skelných vláken ale na úkor recyklovatelnosti. Základní vlastnosti používaného PA6-GF30 jsou v následujícím přehledu. A graf závislosti deformace na napětí tohoto PA6-GF30 na obrázku 4.3.

Materiálové vlastnosti

- Hustota tuhé fáze 1350 [kg/m³]
- Hustota taveniny 1150 [kg/m³]
- Modul pružnosti v tahu 9500/6000 [MPa] (suchý/navlhlý)
- Teplota tání 10°C/min 220 [°C]
- Smrštění 0,3 – 0,9 [%]

Zpracovatelské podmínky

- Teplota taveniny 250 - 285 [°C]
- Teplota formy 50 - 80 [°C]



Obrázek 4.3: Graf závislosti deformace na napětí PA6-GF30 při různých teplotách [21]

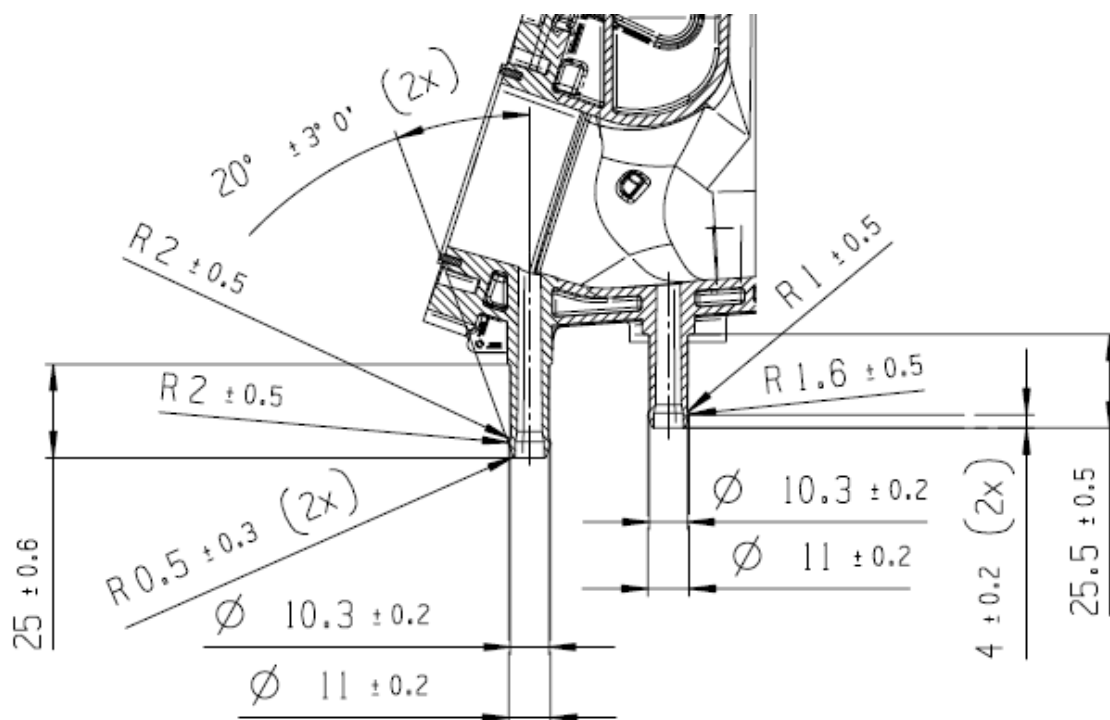
Popis formy využívané pro vstřikování dílu X s nátrubky je následující. Jedná se o jednonásobnou dvoudeskovou vstřikovací formu. To znamená, že při jednom vstřikovacím cyklu je odformován pouze jeden díl a do styku s dílem přicházejí pouze dvě desky. Dále se jedná o formu se vstřikem kolmo na dělicí rovinu. Vstřikovací forma je navržena pro odformování dvou různých variant dílů (X a Y), které se liší počtem nátrubků. Obrázek vstřikovací formy je na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Vstřikovací forma pro vstřikování dílu X [20]

4.2. Geometrie nátrubku

Tvar a rozměry výrobku jsou navrženy konstruktérem výrobku. Výřez detailu s nátrubky, z poslední verze výkresové dokumentace je uveden na obrázku 4.5 včetně rozměrů.

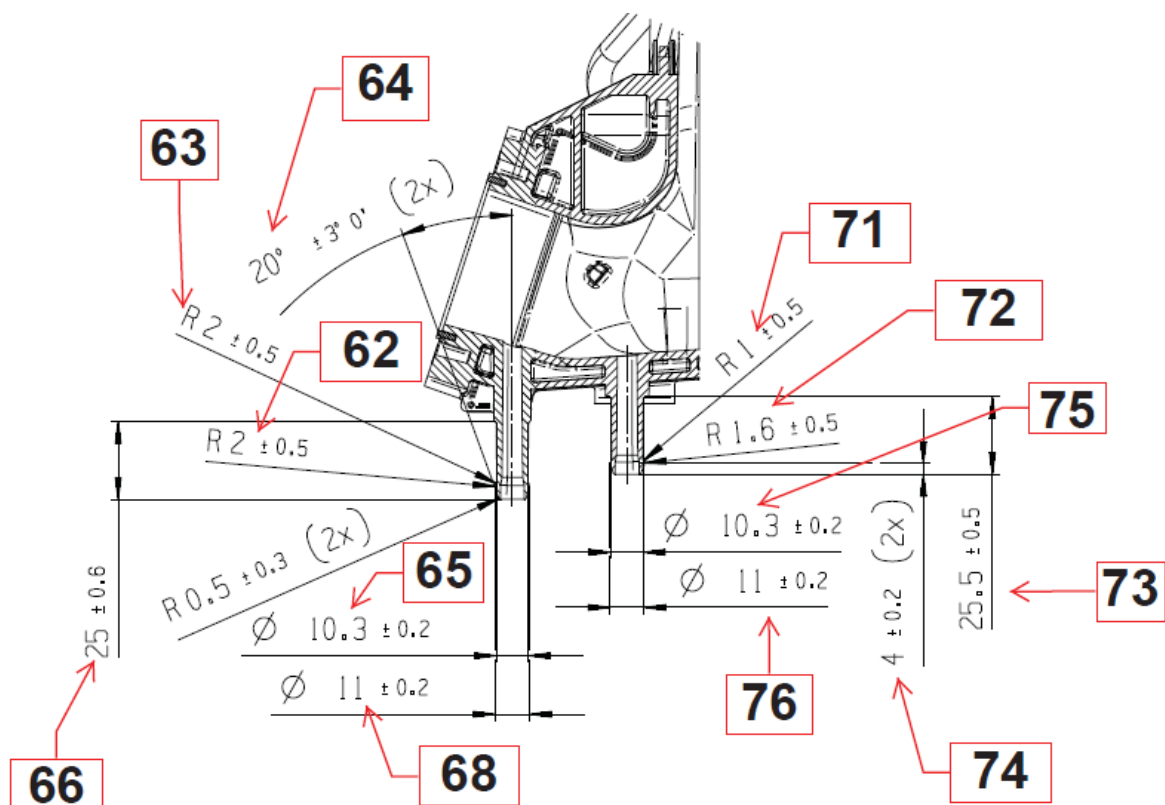


Obrázek 4.5: Výkres nátrubků na dílu X [20]

4.3. Rozměry při současné výrobě

Z důvodu uvolnění stříkaného plastového dílu pro montážní linku bylo provedeno měření stříkaného dílu X. Pro měření výrobku bylo vybráno pět náhodných kusů ze sériové produkce. Na těchto dílech byla zjištěna odchylka na rozměrech označených na obrázku 4.6 jako pozice 62, 63, 64, 71 a 72. Měření probíhalo jak v měřicí laboratoři RBCB tak v externí laboratoři. Z důvodu naměřených hodnot mimo tolerance (tabulka 4.1) bylo nutné navrhnout opatření.

Na základě zjištěných (naměřených) rozměrových odchylek, jsem se v diplomové práci věnoval eliminaci těchto odchylek. Nejjednodušším a nejlevnějším řešením by byla úprava výkresové dokumentace, ale pouze v případě, že úprava výkresu podle reálného stavu neovlivní montážní proces. Bohužel tento návrh byl zamítnut, a proto jsem se rozhodl provést úpravu geometrie vložky ve vstřikovací formě, která nátrubky vytváří.



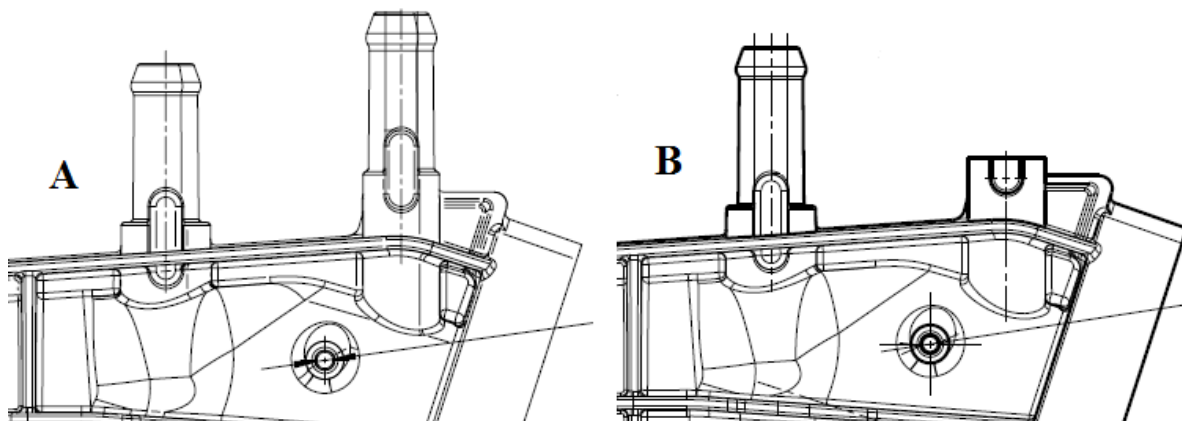
Obrázek 4.6: Opozicované rozměry nátrubků [20]

Tabulka 4.1: Vstupní údaje pro úpravu geometrie [20]

Pozice	Výkresové hodnoty	Naměřené hodnoty (externí laboratoř) [mm]	Naměřené hodnoty (RBCB laboratoř) [mm]
63	$R2 \pm 0,5$	NOK	NOK
62	$R2 \pm 0,5$	NOK	NOK
64	$2 \times 20^\circ \pm 3^\circ$	NOK	NOK
		NOK	NOK
71	$R1,0 \pm 0,5$	NOK	NOK
72	$R1,6 \pm 0,5$	NOK	NOK
68	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK	OK
76	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK	OK
65	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK	OK
75	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK	OK
66	$25 \pm 0,6$	OK	OK
73	$25 \pm 0,5$	OK	OK

5. Úprava geometrie vložky, 1. varianta řešení

Vstřikovací forma obsahující vložku pro nátrubky umožňuje odformování dvou variant výrobků (X a Y), lišící se pouze počtem nátrubků viz obrázek 5.1. Druhá varianta výrobku obsahuje pouze jeden nátrubek. Toho se docílí tak, že je vložka pro jeden nátrubek „zaslepena“ záslepkou. Oprava vložky nebyla možná z důvodu opotřebení dutiny vložky a nutnosti použití provizorní opravy s nejistým výsledkem.



Obrázek 5.1: Rozdíl ve dvou variantách nátrubků dílu X a Y [20]

A - bez záslepky vložky B - s záslepkou vložky

Pro odformování se užívá metody přetahování. Tato metoda byla zvolena právě z důvodu použití jednoduché záslepky a má následující výhody a nevýhody.

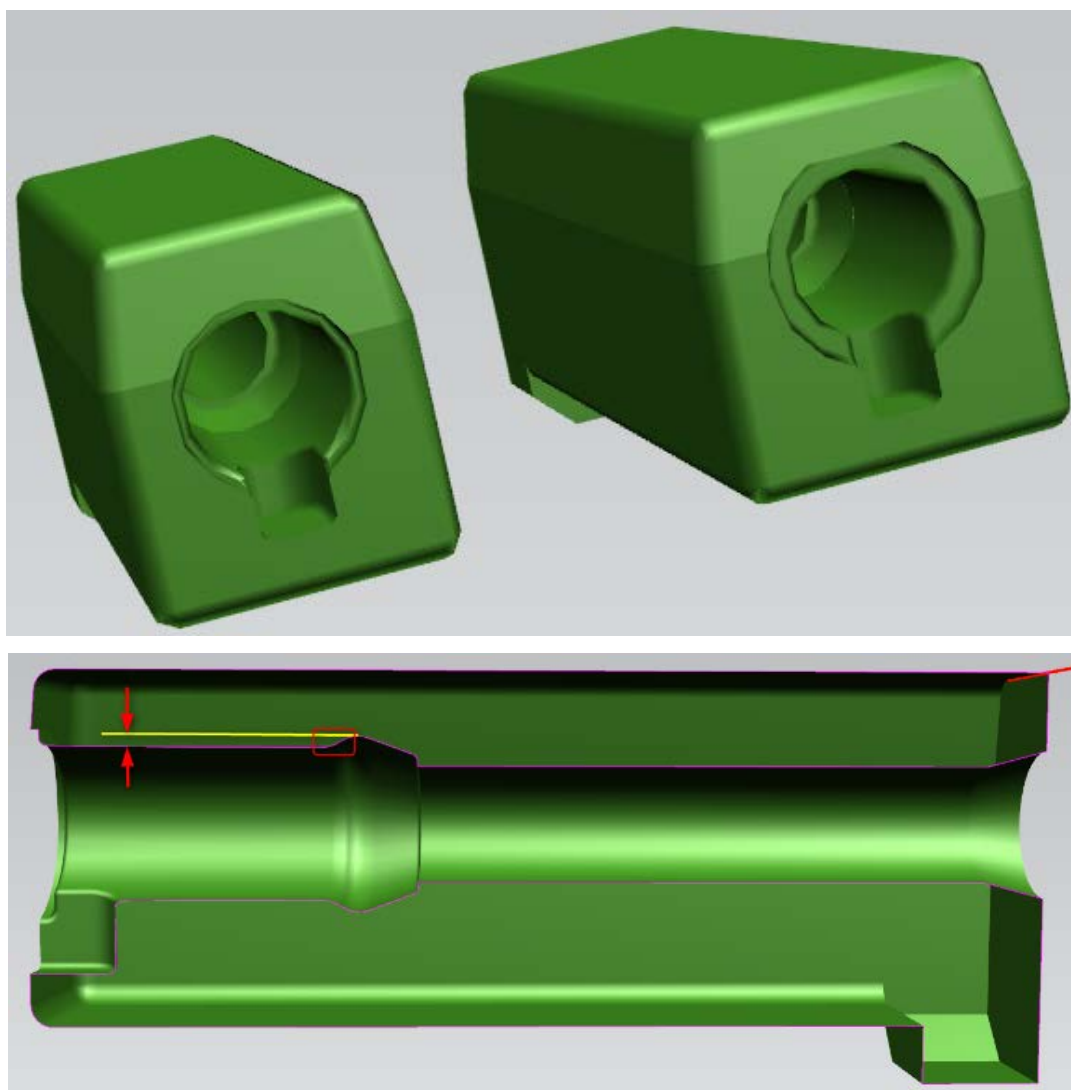
Tabulka 5.1: Výhody a nevýhody použití metody přetahování při odformování výrobku

Výhody	Nevýhody
Možnost použití jednoduché záslepky	Použití pouze pro určitý design výrobku
Menší riziko otřepu	Riziko utržení nátrubku při špatně nastavených parametrech vstřikování
Možnost umístění mimo dělicí rovinu	Nevhodné pro přesnější tolerance

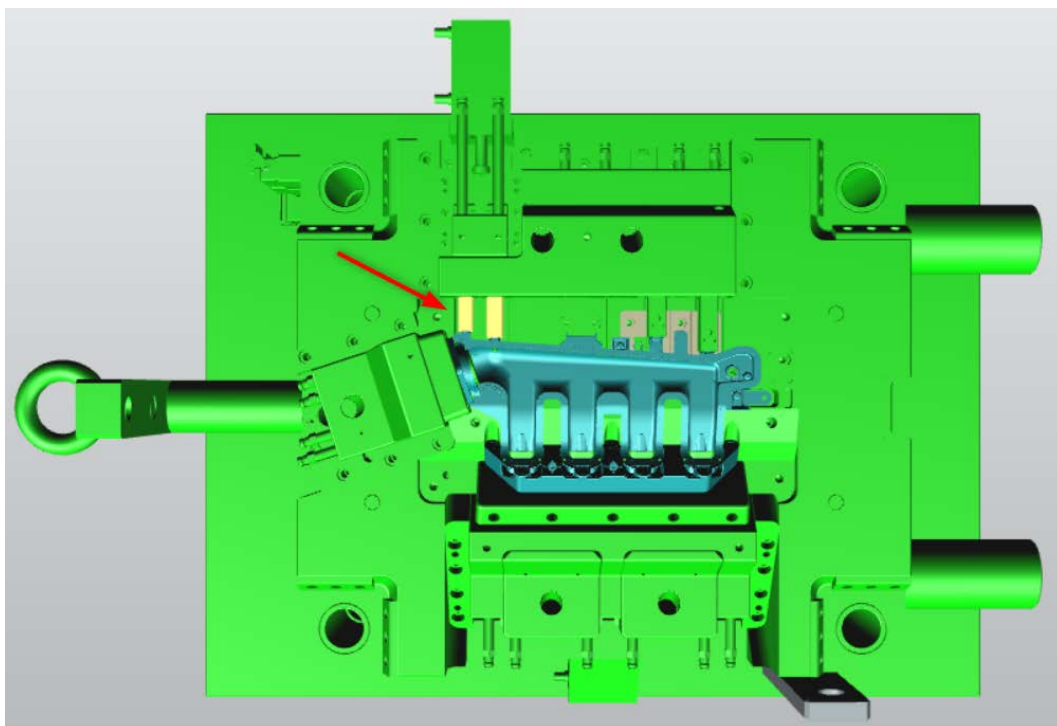
Návrh byl tedy výroba kopie původní vložky a to z důvodu možnosti použití záslepky a docílení tak rychlé možnosti úpravy formy pro dva typy výstřiku X a Y bez nutnosti odbornějšího zásahu. Tato varianta také vycházela jako nejlevnější možnost.

5.1. Vyrobení vložky

Nejdříve byl vyroben model vložky pro přetahování nátrubků pomocí programu Siemens NX. Dutinu vložky je nutné navrhnout větší oproti výkresu/modelu výrobku a to z důvodu smrštění plastu. V tomto konkrétním případě o 0,6 % podélném i příčném směru. Výkres pro výrobu vložky můžete nalézt v příloze (č. 2 a č. 3) a model vložky níže na obrázku 5.2. Na obrázku 5.3 se nachází modelu celé pohyblivé části formy s vložkami.



Obrázek 5.2: Model vložky pro přetahování nátrubků [20]



Obrázek 5.3: Model pohyblivé části formy s vložkami pro přetahování nátrubků [20]

Výroba vložky probíhala následujícím způsobem. Polotovár oceli 1.2343 (Chrom - molybden - křemík - vanadová ocel) byl soustružen, broušen na plocho, frézován, řezán drátem, elektroerozivně obráběn a průběžně měřen. Cena materiálu a hodinová náročnost výroby vložky, přípravy výkresů a modelu a zabudování vložky do formy jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2: Ekonomické zhodnocení 1. varianty přípravy vložky [20]

CAD [h]	2
CAM [h]	8
Soustružení [h]	4
Broušení na plocho [h]	2
Frézování [h]	8
Drátořez [h]	16
Elektroerozivní obrábění [h]	32
Měření [h]	6
Cena materiálu [Kč]	5000
Cena kooperace [Kč]	1500
Rozebrání a kompletace formy [h]	15

5.2. Vyhodnocení

Pro měření bylo ve formě vystříknuto několik dílů při stejných sériových parametrech. Z těchto dílů byly náhodně vybrány 3 kusy. Z výsledků měření (tabulka 5.3) vyplývá, že korekce byla neúspěšná a to z důvodu těžkého návrhu optimálních rozměrů vložky, když jsou nátrubky následně deformovány při odformování přetahováním. Další oprava vložky by neměla jistý výsledek což je způsobeno právě metodou odformování vložky. Proto jsem přistoupil ke 2. variantě řešení.

Tabulka 5.3: Výsledky měření náhodně vybraných tří kusů na nové vložce pro přetahování nátrubků [20]

Pozice	Výkresové hodnoty	Výsledek měření 1. řešení [mm]
63	$R2 \pm 0,5$	NOK
62	$R2 \pm 0,5$	NOK
64	$2 \times 20^\circ \pm 3^\circ$	OK
		OK
71	$R1,0 \pm 0,5$	NOK
72	$R1,6 \pm 0,5$	NOK
68	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK
76	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK
65	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
75	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
66	$25 \pm 0,6$	OK
73	$25 \pm 0,5$	OK

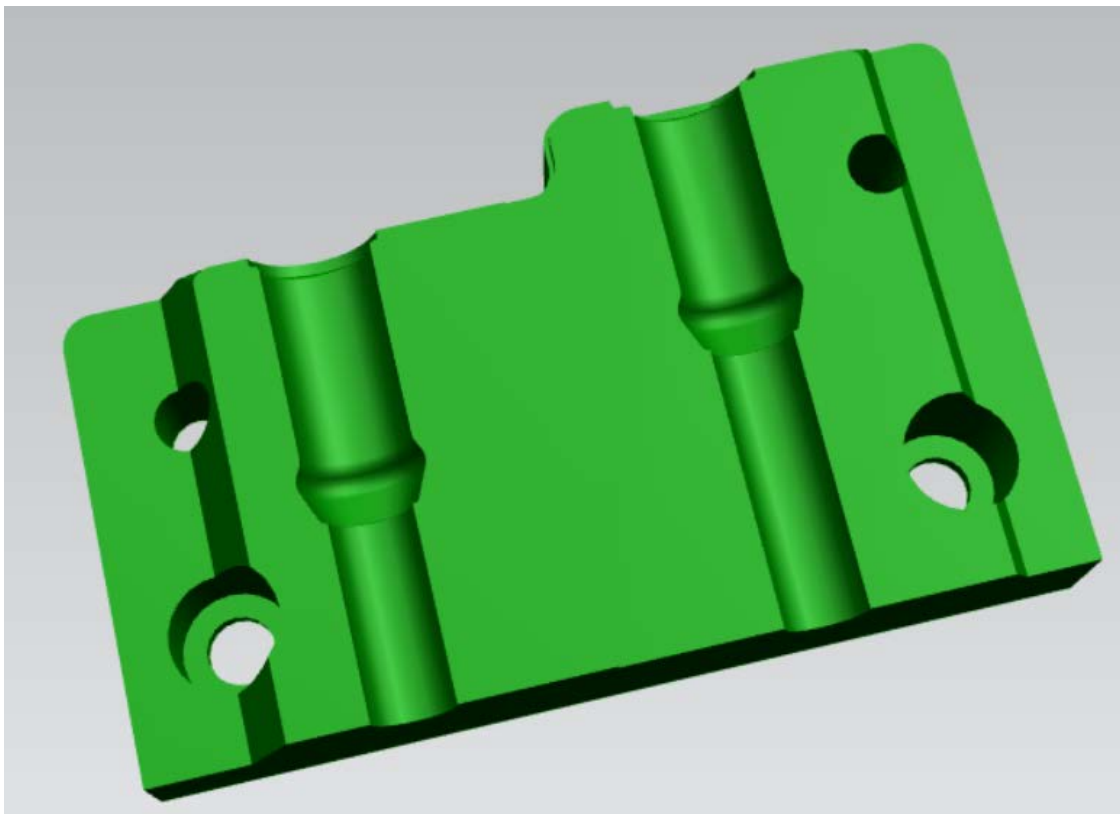
6. Úprava geometrie vložky, 2. varianta řešení

Vzhledem k riziku nejistého úspěchu při pokusu další výroby vložky pro odformování nátrubku metodou přetahování byla navržena zcela nová vložka pro odformování nátrubku a to pro metodu dělené vložky. Tato varianta je o to snazší, že se nátrubky nacházejí v místě dělicí roviny vstřikovací formy. Sice je zde riziko možnosti vzniku otřepu v místě dělení, které je u nátrubku nežádoucí (hrozí proříznutí hadičky), ale pro docílení požadovaných rozměrů je nezbytné. Naopak výhodou dělené vložky je možnost její pozdější úpravy obráběním. Umístění temperačních kanálů, ani jiných komponent formy, nebrání vytvoření dělené vložky

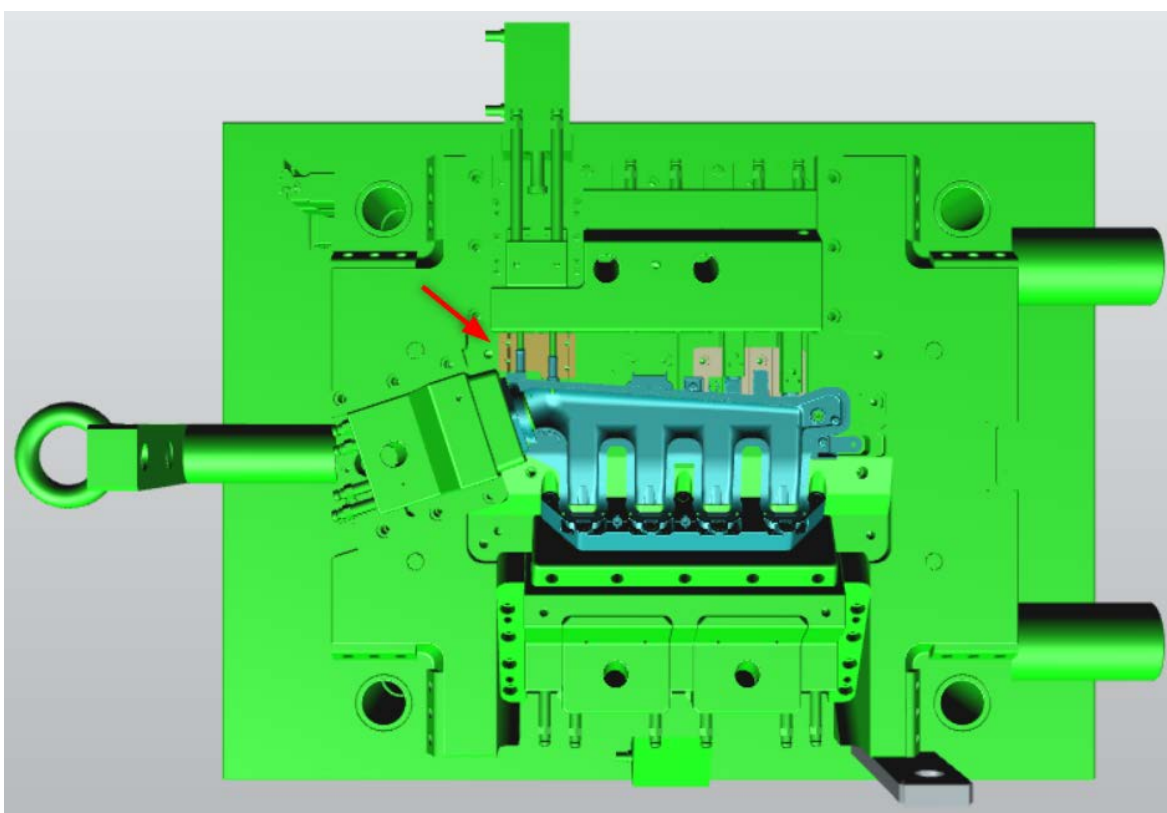
Nevýhodou dělené vložky je, že u přetahované vložky byla možnost použití záslepky. To již u dělené vložky není možné, proto je třeba navrhnout vložky dvě, jak pro variantu vstřikovaného dílu se dvěma nátrubky, tak pro variantu s jedním nátrubkem. Jako první byla navržena vložka obsahující dva nátrubky. S výrobou této vložky souvisí také úprava (obrábění) obou polovin vstřikovací formy pro budoucí vložku.

6.1. Vyrobení vložky

Nejdříve jsem vyrobil model vložky, tentokrát dělené, s 0,6% zvětšením rozměrů v podélném i příčném směru oproti výkresu/modelu výrobku a to z důvodu smrštění plastu. Výkres pro výrobu vložky je uveden v příloze (č. 4) a model vložky na obrázku 6.1. Na obrázku 6.2 se nachází model celé pohyblivé části formy s vložkami. Vložka se skládá ze dvou protilehlých částí.



Obrázek 6.1: Model poloviny vložky pro odformování nátrubku [20]



Obrázek 6.2: Model pohyblivé části formy s dělenými vložkami pro odformování nátrubků [20]

Dělené vložky byly vyrobeny z polotovaru oceli 1.2343 (Chrom - molybden - křemík - vanadová ocel), který byl soustružen, broušen na plocho, frézován, řezán drátem, elektroerozivně obráběn a průběžně měřen. Cena materiálu a hodinová náročnost výroby vložky, přípravy výkresů a modelu a zabudování vložky do formy jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1: Ekonomické zhodnocení 2. varianty přípravy vložky pro dva nátrubky [20]

CAD [h]	4
CAM [h]	6
Soustružení [h]	10
Broušení na kulato [h]	8
Broušení na plocho [h]	5
Frézování [h]	18
Drátořez [h]	22
Elektroerozivní obrábění [h]	12
Měření [h]	10
Cena materiálu [Kč]	5000
Cena kooperace [Kč]	2000
Rozebrání a kompletace formy [h]	12

6.2. Vyhodnocení

Pro měření byly ve formě vystříknuty díly při stejných sériových parametrech. Z těchto dílů byly náhodně vybrány 3 kusy. Podle měření (tabulka 6.2) je vidět, že optimalizace byla mnohem úspěšnější než v 1. variantě. Přesto nevyšel jeden rozměr. Navíc došlo ke zhoršení průměrů nátrubků oproti původní variantě (pozice 68 a 76).

Metoda odformování přetahováním deformuje finální výstřik. Tato deformace odpadá v případě použití dělené vložky, ale přesto vliv smrštění plastu a orientace skelných vláken zapříčinil zhoršení průměrů nátrubků. Z tohoto důvodu bylo třeba navrhnout 3. variantu řešení.

Tabulka 6.2: Výsledky měření náhodně vybraných tří kusů na nové dělené vložce pro odformování nátrubků [20]

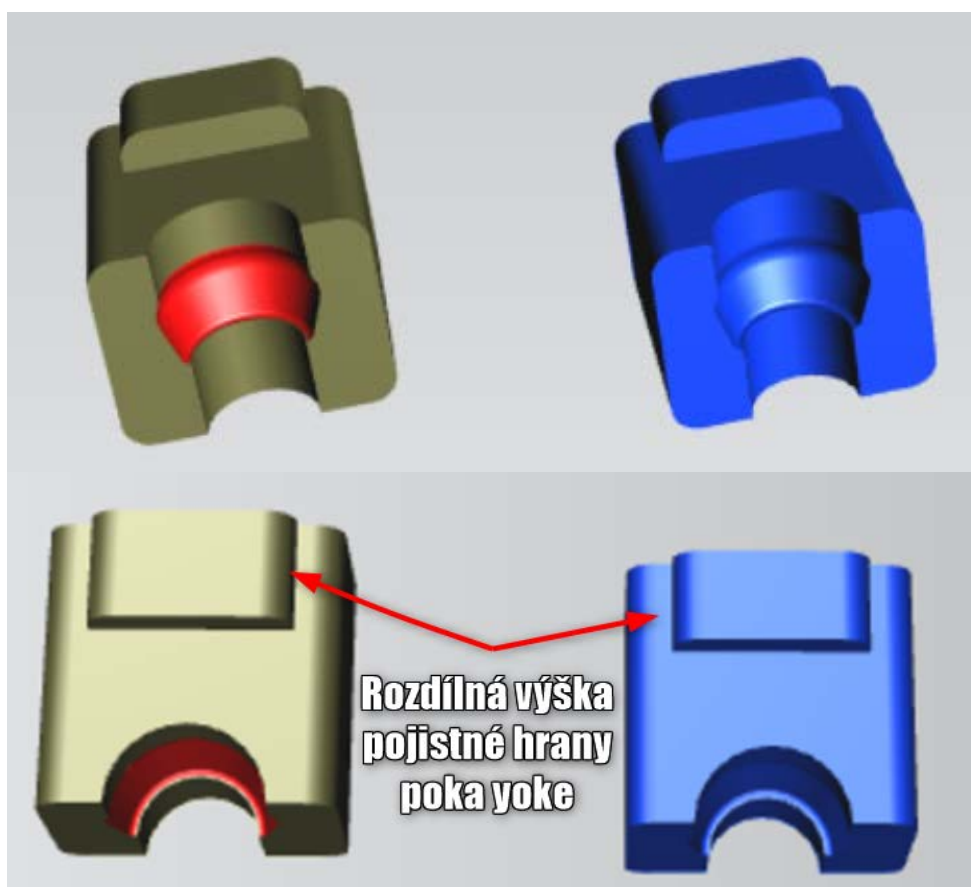
Pozice	Výkresové hodnoty	Výsledek měření 2. řešení [mm]
63	$R2 \pm 0,5$	NOK
62	$R2 \pm 0,5$	OK
64	$2 \times 20^\circ \pm 3^\circ$	OK
		OK
71	$R1,0 \pm 0,5$	OK
72	$R1,6 \pm 0,5$	OK
68	$\varnothing 11 \pm 0,2$	NOK
76	$\varnothing 11 \pm 0,2$	NOK
65	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
75	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
66	$25 \pm 0,6$	OK
73	$25 \pm 0,5$	OK

7. Úprava geometrie vložky, 3. varianta řešení

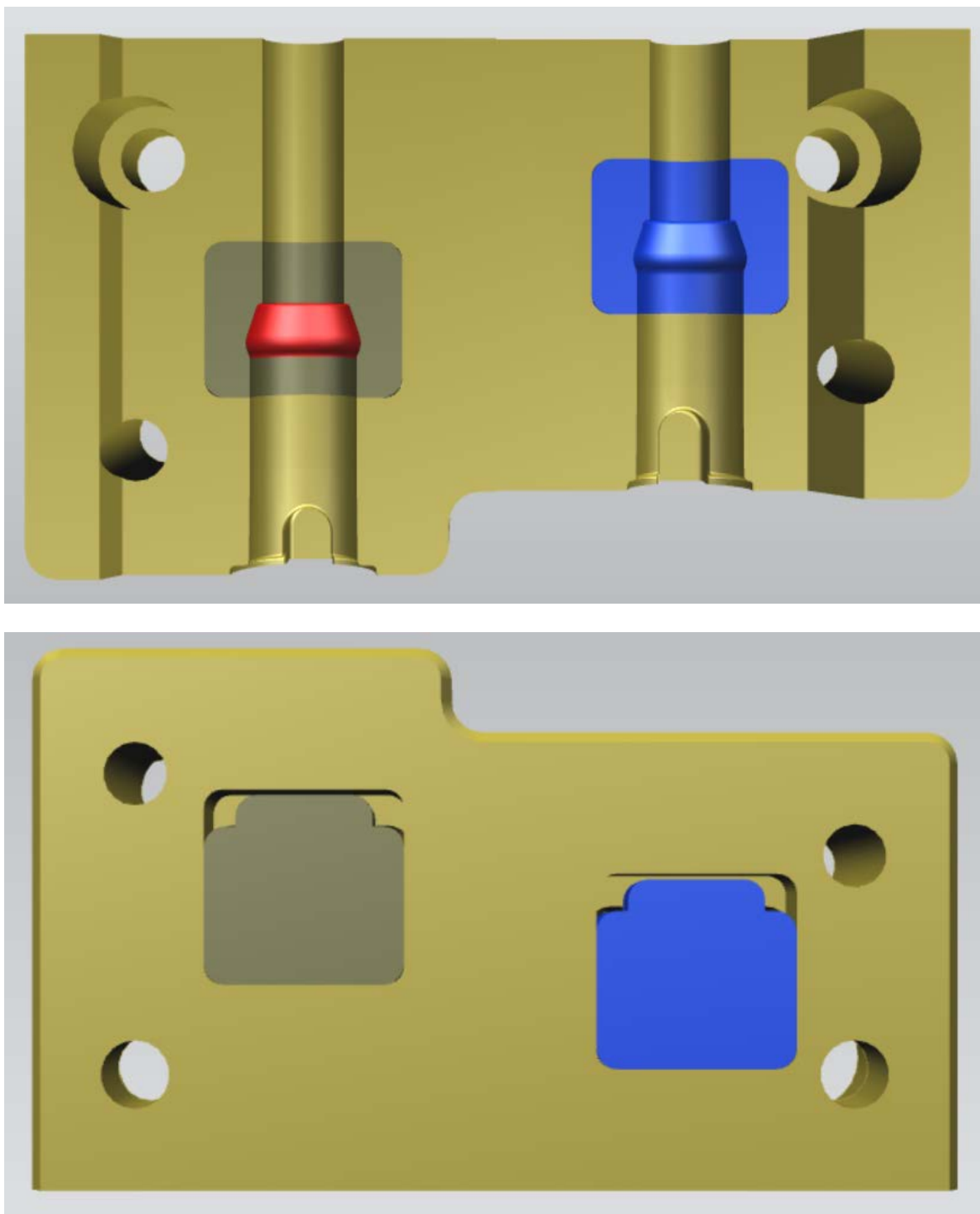
Pro třetí fázi úpravy vložky již nebylo třeba vyrábět celou vložku, ale stačilo pouze „převložkovat“ vložku. Tuto možnost jsem měl právě díky dělené vložce. Byly vyrobeny vložky pouze vrcholů nátrubků tzv. bambulí. To umožní případnou budoucí výměnu bez nutnosti výroby celé velké vložky. Stávající dělenou vložku bylo potřeba upravit pro tyto malé vložky. Nové malé vložky byly navrženy s rozdílnou délkou zadní pojistné hrany pro zabránění prohození těchto malých vložek mezi sebou tzv. systém poka yoke.

7.1. Vyrobení vložky

Jako první jsem vyrobil model malých vložek, s opraveným rozměrem a 0,6% zvětšením rozměrů v podélném i příčném směru oproti výkresu/modelu výrobku z důvodu smrštění plastu. Výkres pro výrobu malých vložek můžete nalézt v příloze (č. 5, č. 6 a č. 7) a model na obrázku 7.1. Na obrázku 7.2 se nachází model dělené vložky se zabudovanými malými vložkami a na obrázku 7.3 pak reálná již vyrobená vložka.



Obrázek 7.1: Modely vložek vrcholů nátrubků pro dělenou vložku [20]



Obrázek 7.2: Přední a zadní strana modelu dělené vložky pro odformování nátrubků se zabudovanými vložkami pro odformování „bambulí“ nátrubků [20]



Obrázek 7.3: Přední a zadní strana dělené vložky pro odformování nátrubků se zabudovanými vložkami pro odformování „bambulí“ nátrubků [20]

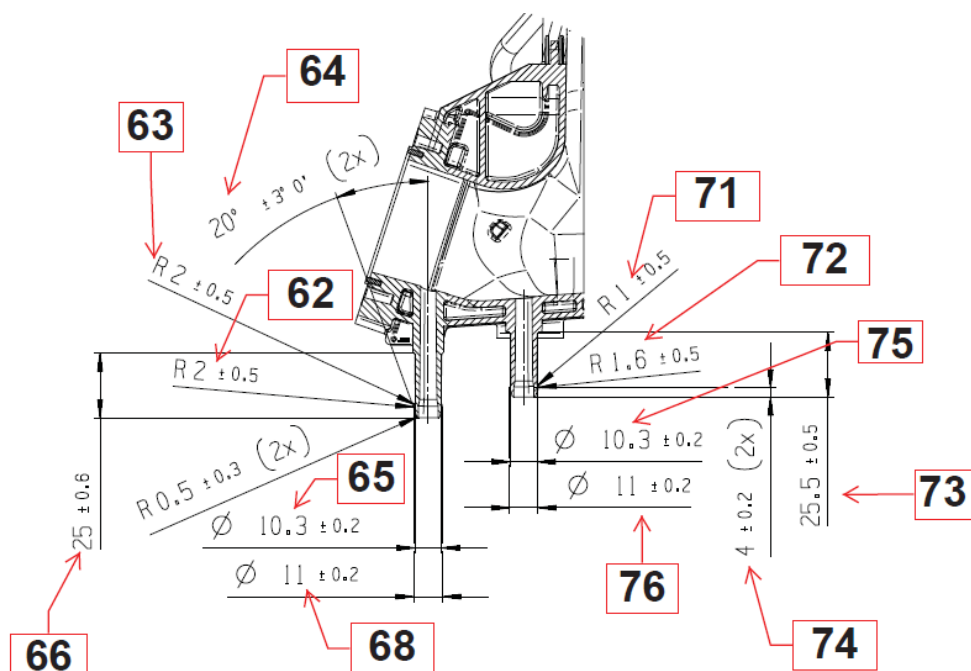
Výroba malých vložek měla výrobní postup následující. Tentokrát menší polotovar oceli 1.2343 (Chrom - molybden - křemík - vanadová ocel) byl soustružen, elektroerozivně obráběn a průběžně měřen. Cena materiálu a hodinová náročnost výroby malých vložek, přípravy výkresů a modelu a zabudování těchto vložek do dělené vložky jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tabulka 7.1: Ekonomické zhodnocení 3. varianty přípravy malých vložek pro dva nátrubky [20]

CAD [h]	2
CAM [h]	2
Soustružení [h]	1
Broušení na kulato [h]	0
Broušení na plocho [h]	0
Frézování [h]	0
Drátořez [h]	0
Elektroerozivní obrábění [h]	5
Měření [h]	3
Cena materiálu [Kč]	300
Cena kooperace [Kč]	0
Rozebrání a kompletace formy [h]	14

7.2. Vyhodnocení

Pro měření byly ve formě vystříknuty díly při sériových parametrech. Z těchto dílů byly náhodně vybrány 3 kusy. Podle výsledků měření (tabulka 7.2) je patrné, že korekce byla úspěšná. Všechny výkresové rozměry nátrubků vyšly. Obdobným způsobem může být vyrobena vložka pro variantu dílu Y s jedním nátrubkem. Pro porovnání tabulky s výsledky je znovu vložen obrázek výrobku s opozicovanými rozměry. (obrázek 7.4]



Obrázek 7.4: Opozicované rozměry nátrubků [20]

Tabulka 7.2: Výsledky měření náhodně vybraných tří kusů po zabudování malých vložek do dělené vložky pro odformování nátrubků [20]

Pozice	Výkresové hodnoty	Výsledky měření 3. řešení [mm]
63	$R2 \pm 0,5$	OK
62	$R2 \pm 0,5$	OK
64	$2 \times 20^\circ \pm 3^\circ$	OK
		OK
71	$R1,0 \pm 0,5$	OK
72	$R1,6 \pm 0,5$	OK
68	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK
76	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK
65	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
75	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK
66	$25 \pm 0,6$	OK
73	$25 \pm 0,5$	OK

8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nalezení nejvhodnější metody odformování plastových dílů ze vstřikovacích forem.

V teoretické části diplomové práce byla rozebrána technologie vstřikování plastů s popisem vstřikovacího cyklu a faktory ovlivňující výrobní cyklus. Dále jsou v práci popsány možnosti odformování plastových dílů z hlediska materiálu, z hlediska konstrukce dílu a z hlediska vstřikovací formy.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na úpravu vstřikovací formy pro výrobu dílu X od společnosti RBCB, týkající se korekce tvaru a geometrie vložky pro odformování nátrubků, včetně realizace vložky a měření vystříknutého dílu.

Práce je rozdělena na tři části, přičemž první část řešení je výroba vložky pro odformování nátrubků metodou přetahování. Tato korekce se ukázala jako neúspěšná a z důvodu nejistého výsledku bylo od metody odformování přetahování upuštěno.

Na základě měření a zkušeností z první části byla jako druhé řešení navržena dělená vložka pro odformování nátrubků. Tato varianta se dle měření ukázala jako lepší, ale nebyly zohledněny vlivy jako je smrštění plastu a orientace skelných vláken, které zapříčinily zhoršení průměrů nátrubků. Z tohoto důvodu bylo třeba navrhnout 3. variantu řešení.

Ve třetí části byly navrženy malé vložky pro převložkování dělené vložky. Ty byly vyrobeny a zabudovány do původní vložky a vložka zabudována do vstřikovací formy. Byly vystříknuty díly při sériových parametrech, z nichž byly vybrány tři kusy na měření. Měření ukázalo kladné výsledky a lze tedy prohlásit korekci za úspěšnou. Nyní je možné na základě těchto zkušeností navrhnout vložku pro druhou variantu výrobku, kde se nachází pouze jeden nátrubek a to i se zabudováním malé vložky, která přináší výhody do budoucna, jako možnost držení náhradního dílu, doba opravy a prostoje při poškození této části nátrubku, flexibilita v případě zákaznického požadavku na změnu geometrie (výměna pouze malé vložky).

Celková cena práce všech řešení byla 227h a cena materiálu a kooperace 13800 Kč.

Shrnutí naměřených výsledků:

Pozice	Výkresové hodnoty	Vstupní hodnoty (externí laboratoř) [mm]	Vstupní hodnoty (RBCB laboratoř) [mm]	Výsledky měření 1. řešení [mm]	Výsledky měření 2. řešení [mm]	Výsledky měření 3. řešení [mm]
63	$R2 \pm 0,5$	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
62	$R2 \pm 0,5$	NOK	NOK	NOK	OK	OK
64	$2 \times 20^\circ \pm 3^\circ$	NOK	NOK	OK	OK	OK
		NOK	NOK	OK	OK	OK
71	$R1,0 \pm 0,5$	NOK	NOK	NOK	OK	OK
72	$R1,6 \pm 0,5$	NOK	NOK	NOK	OK	OK
68	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK	OK	OK	NOK	OK
76	$\varnothing 11 \pm 0,2$	OK	OK	OK	NOK	OK
65	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK	OK	OK	OK	OK
75	$\varnothing 10,3 \pm 0,2$	OK	OK	OK	OK	OK
66	$25 \pm 0,6$	OK	OK	OK	OK	OK
73	$25 \pm 0,5$	OK	OK	OK	OK	OK

Shrnutí ekonomických nákladů:

Ekonomické náklady	1. řešení	2. řešení	3. řešení	
CAD [h]	2	4	2	
CAM [h]	8	6	2	
Soustružení [h]	4	10	1	
Broušení na kulato [h]	0	8	0	
Broušení na plocho [h]	2	5	0	
Frézování [h]	8	18	0	
Drátořez [h]	16	22	0	
Elektroerozivní obrábění [h]	32	12	5	
Měření [h]	6	10	3	
Cena materiálu [Kč]	5000	5000	300	
Cena kooperace [Kč]	1500	2000	0	
Rozebrání a kompletace formy [h]	15	12	14	Suma řešení
Suma [h]	93	107	27	227 hodin
Suma [Kč]	6500	7000	300	13800 Kč

9. Seznam použité literatury

- [1] KREBS, J. Teorie zpracování nekovových materiálů. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [2] Nové technické materiály: kurz zajišťuje Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Centrum nanotechnologií. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-714-7.
- [3] VACEK Z. Historie použití plastů v automobilech: Z dehtu i konopí [online]. veteran.auto.cz [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/clanek/393/historie-pouziti-plastu-v-automobilech-z-dehtu-i-konopi>
- [4] Robert Bosch GmbH.: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Bosch_GmbH
- [5] A history of Bosch in the Czech Republic: Robert Bosch spol. s r.o. in České Budějovice - Bosch History Blog. [online]. blog.bosch.com [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://blog.bosch.com/history/en/2017/05/28/bosch-in-the-czech-republic-25-years-robert-bosch-spol-s-r-o-in-ceske-budejovice/>
- [6] Vývojové a testovací centrum společnosti Robert Bosch, spol. s r.o. - ppt stáhnout. SlidePlayer - Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace [online]. Copyright © 2019 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2826206/>
- [7] LENFELD, P. Technologie vstřikování [online]. eTUL webová knihovna, 2015 [online]. ISBN: 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/>
- [8] Vstřikovací stroje ENGEL e-duo | Velké stroje ENGEL duo elektrické. [online]. engelglobal.com. [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/reseni/vstrikovaci-stroje/e-duo.html>
- [9] Technologie II. (tváření kovů a plastů) - Katedra strojírenské technologie. Vstřikování plastů [online]. ksp.tul.cz. [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm

- [10] Weiss chooses Yaskawa jointed-arm robots - Flexible automation in plastics processing - Yaskawa Europe GmbH. YASKAWA Europe - Yaskawa Europe GmbH [online]. Copyright © 2019 YASKAWA Europe GmbH [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/it/news-events/news/article/news/weiss-chooses-yaskawa-jointed-arm-robots-flexible-automation-in-plastics-processing/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=4fb24dbcb19e583808b576d6c54be26b
- [11] BOBEK, J. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. eTUL webová knihovna, 2015 [online]. ISBN: ISBN: 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/>
- [12] ZEMAN, L. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [13] Krebs, J.; Sova, M. Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7
- [14] ZEMAN, L. Provoz, údržba a opravy vstřikovacích forem. Technický týdeník [online]. Copyright © Business Media CZ, Nádražní 32, 150 [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz/priloha/5ab7b3998309b/lubomirzeman-5ab7b6dc8d398.pdf>
- [15] bosses. PARALLEL DESIGN [online]. paralleldesign.com. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: http://www.paralleldesign.com/moldability_101/bosses.htm
- [16] Moulds manufacturers in China [online]. goodbomould.com. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <http://www.goodbomould.com/catalog.asp?tags=Plastic>
- [17] Hynek, M.; kolektiv. Vyhazovací soustava a vyhazovače. Katedra konstruování stroju [online]. Copyright ©c kks.zcu.cz, [cit. 23.04.2019]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
- [18] Animation of Unscrewing Mold [online]. meittcm.persiangu.com. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: [http://meittcm.persiangu.com/image/001%20\(3\).gif](http://meittcm.persiangu.com/image/001%20(3).gif)

[19] Injection Mold Slide Design- Plastopia. China Injection Molding - Plastopia [online]. plastopialtd.com. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <https://www.plastopialtd.com/slide/>

[20] Interní materiály společnosti Robert Bosch s. r. o.

[21] DSM Engineering Plastics - Plastics Finder. DSM Engineering Plastics - Plastics Finder [online]. Copyright © DSM 2019 plasticsfinder.com. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <https://plasticsfinder.com/en/datasheet/Akulon%C2%AE%20K224-HG6/6ZAWj>

10. Seznam příloh

Příloha č. 1: Výkres vložky pro 1. variantu řešení 1. část

Příloha č. 2: Výkres vložky pro 1. variantu řešení 2. část

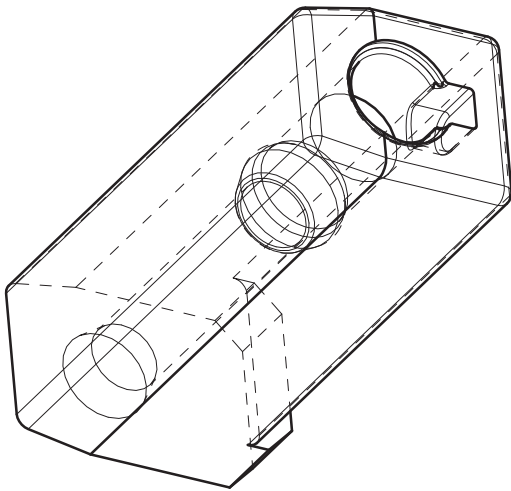
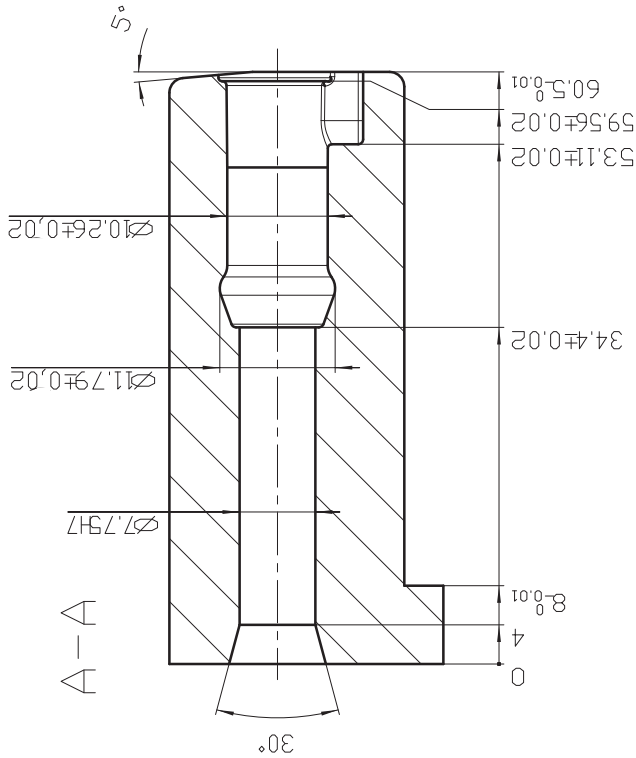
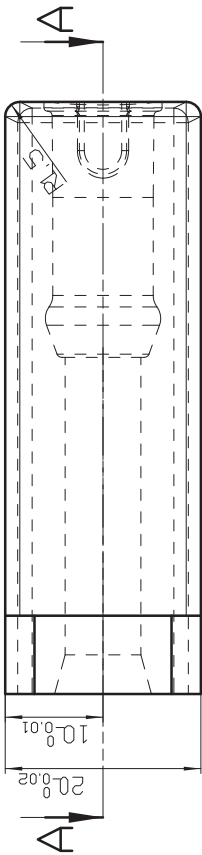
Příloha č. 3: Výkres vložky pro 2. variantu řešení

Příloha č. 4: Výkres vložky pro 3. variantu řešení (úprava vložky z 2. řešení)

Příloha č. 5: Výkres vložky pro 3. variantu řešení 1. část

Příloha č. 6: Výkres vložky pro 3. variantu řešení 2. část

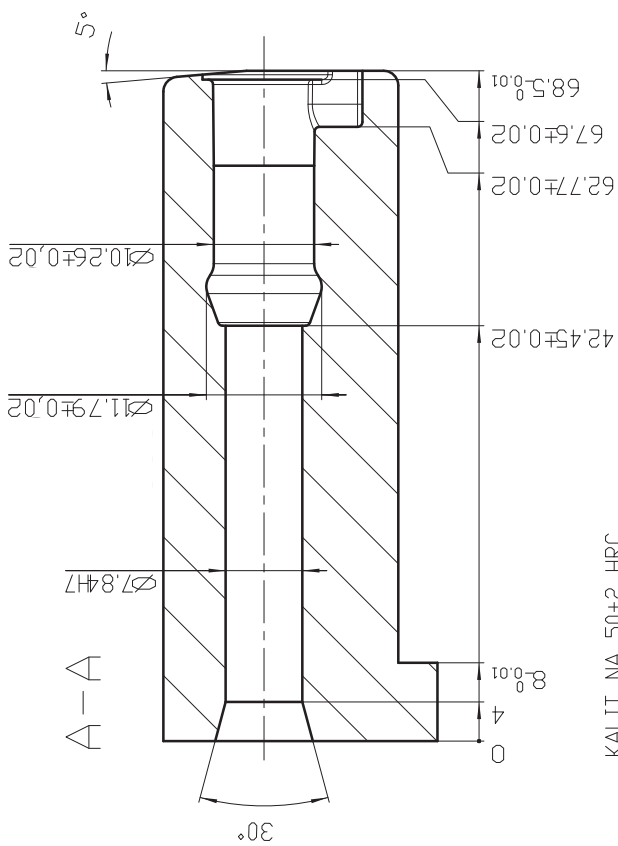
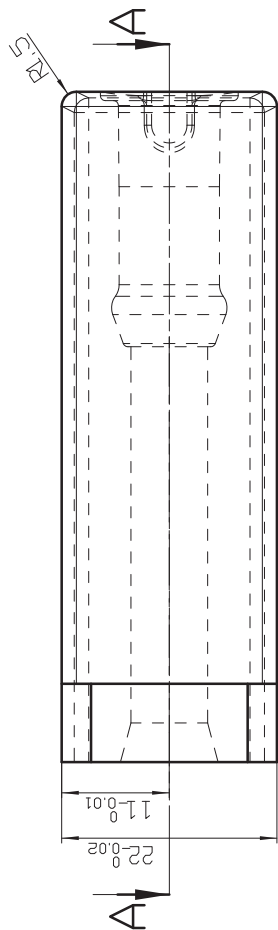
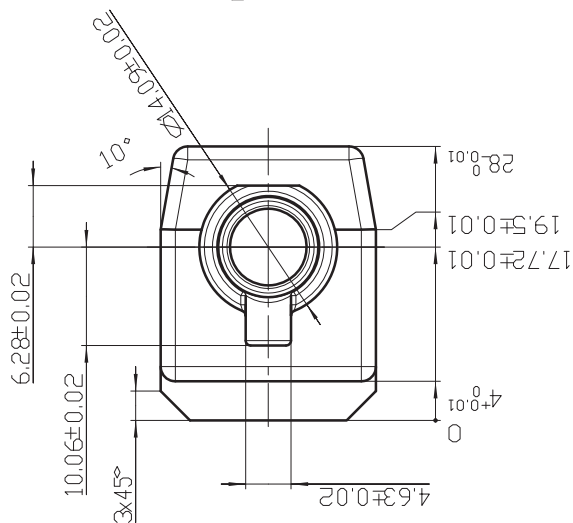
NETOLEROVANE ROZMERY		
bez desetinnych mist	1 desetinne misto	
± 1	± 0.1	
2 desetinne mista	3 desetinne mista	
± 0.01	± 0.001	



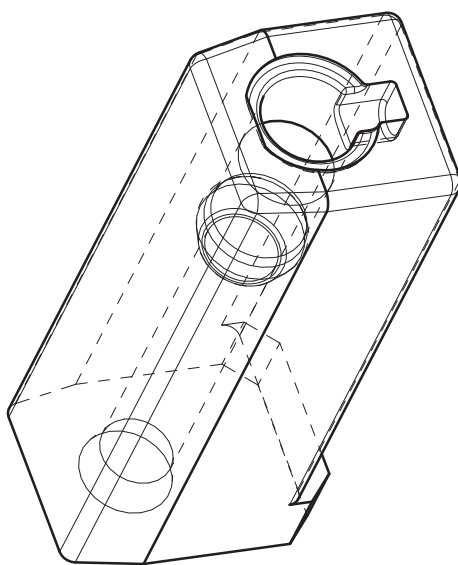
KALIT NA 50+2 HRC
TVAROVE PLOCHY LESTIT
NEKOTOVANE TVARY DLE
CAD DAT



Orig. Meritko: ISO E	Poz:	Pozice:
DIN 3	2:1	Material: 1.2343
(ACA)		Pol: 61x28x58.1
Datum	Name	Nazev:
kres	prez	Výkres vložky pro 1. variantu řešení 1. část
sch	Original:	z 1
		Ausg. -
	Cislo:	
z nahrazuje		nahrazeno

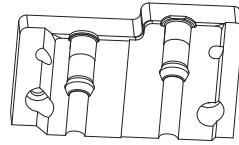
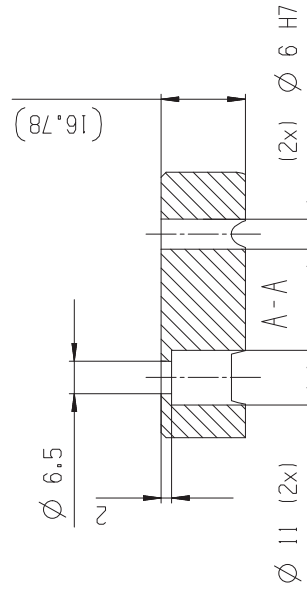
NETOLEROVANE ROZMERY	
bez desetinnych miest	1 desetinne miesto
± 1	± 0.1
2 desetinne miesto	3 desetinne miesto
± 0.01	± 0.001



KALIT NA 50+2 HRC
TVAROVE PLOCHY LESTIT
NEKOTOVANE TVARY DLE
CAD DAT

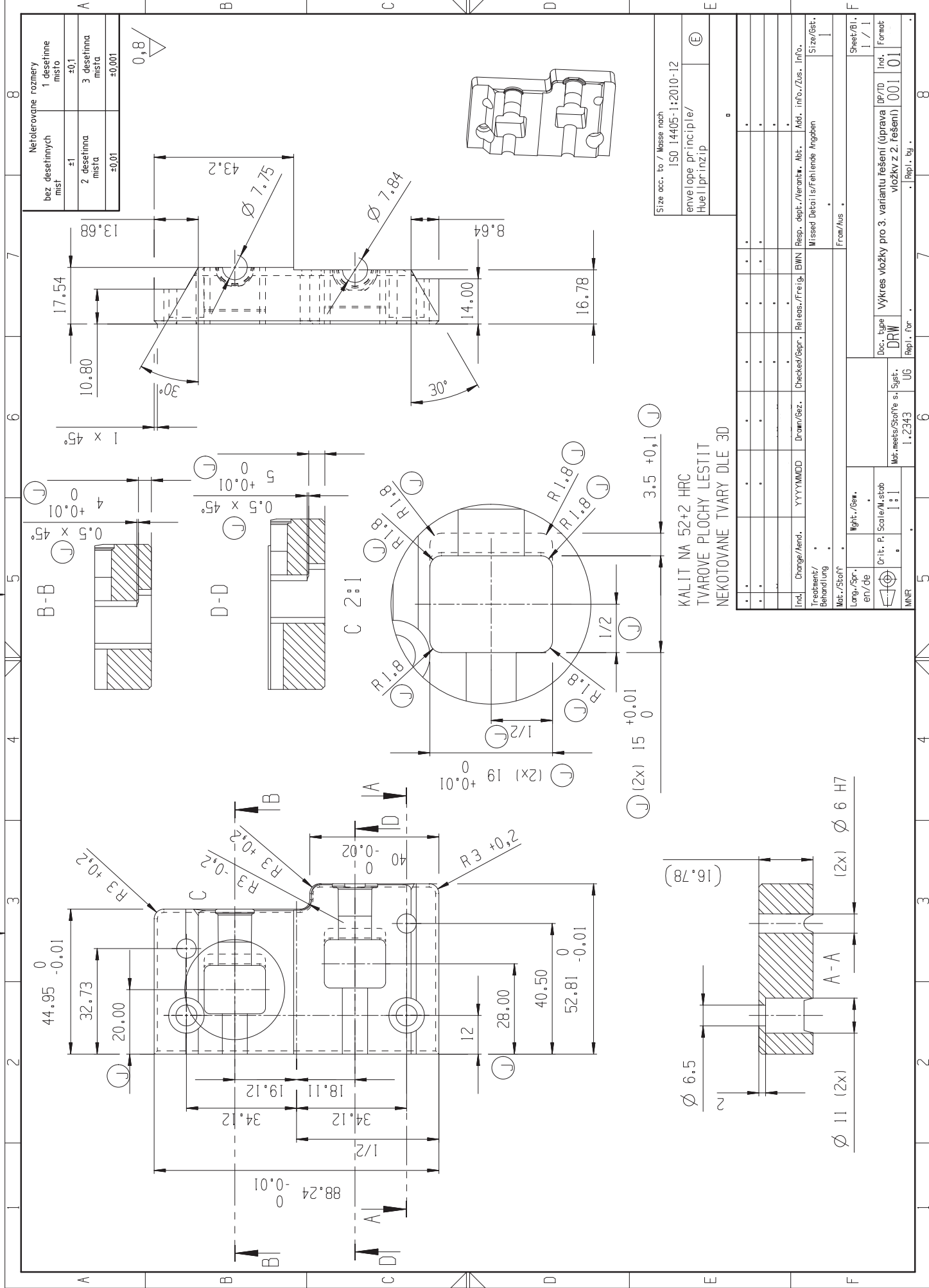


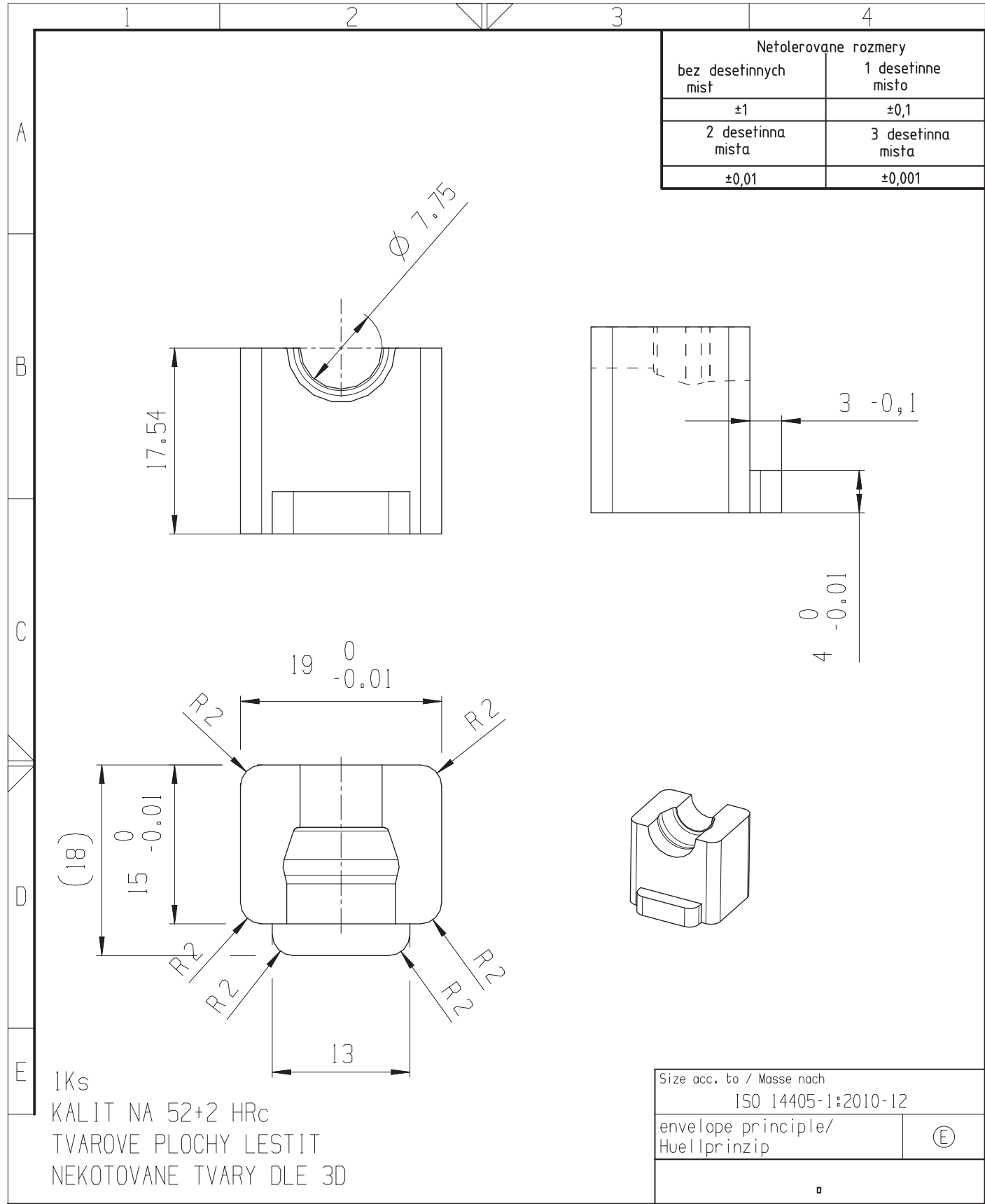
Orig. Meritko: ISO E	Poz:	Pozice:	103
2:1		Materiali:	1.2343
	Datum	Název:	Výkres vložky pro 1. variantu řešení 2. část
kresli		List	1
prez.		z	1
sch.		Ausg. -	
Original:			
Z		nahrazeno	



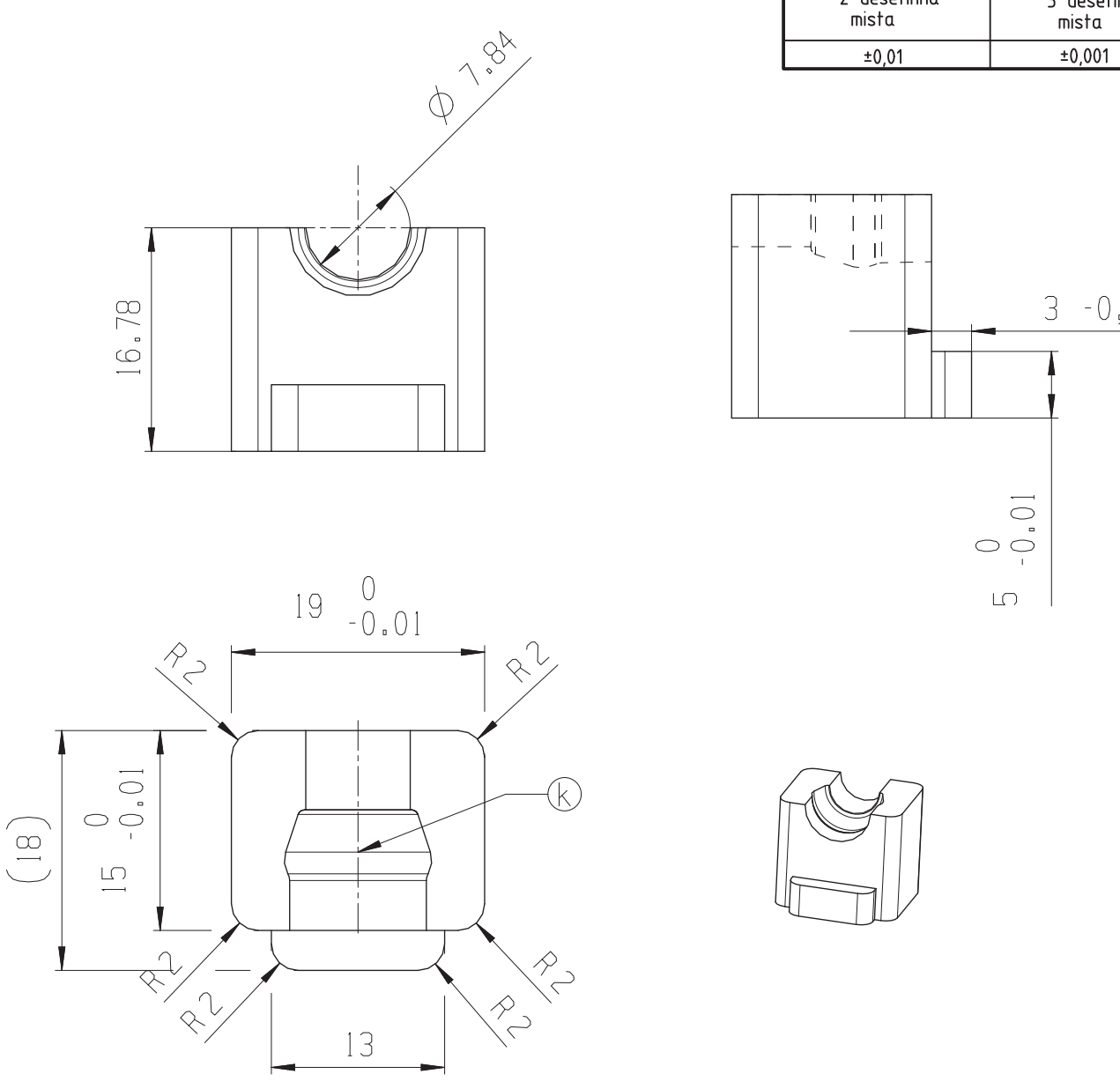
Size acc. to / Masse nach ISO 1405-1:2010-12	envelope principle/ Hüllprinzip
---	------------------------------------

Výkres vložky pro 2. variantu řešení	DP/TD	Ind.	Format
	001	01	





Ind.	Change/Aend.	YYYYMMDD	Drawn/Gez.	Checked/Gepr.	Releas./Freig.	BWN	Resp. dept./Verantw. Abt.	Add. info./Zus. Info.	
Treatment/ Behandlung							Missed Details/Fehlende Angaben	Size/Gst.	
Mat./Stoff							From/Aus		
Lang./Spr. en/de		Wght./Gew.							Sheet/Bl. 1 / 1
	Crit. P.	Scale/M.stab			Doc. type	Výkres vložky pro 3. variantu řešení 1. část	DP/TD	Ind.	Format
		1 : 1	Mat.meets/Stoffe s.	Syst.	DRW		001	01	
MNR			1.2343	UG	Repl. for		Repl. by		

1		2		3		4																																																							
A		B		C		D																																																							
E																																																													
				<table border="1"><tr><th colspan="2">Netoleroované rozmery</th></tr><tr><th>bez desetinnych mist</th><th>1 desetinne misto</th></tr><tr><td>±1</td><td>±0,1</td></tr><tr><th>2 desetinna mista</th><th>3 desetinna mista</th></tr><tr><td>±0,01</td><td>±0,001</td></tr></table>				Netoleroované rozmery		bez desetinnych mist	1 desetinne misto	±1	±0,1	2 desetinna mista	3 desetinna mista	±0,01	±0,001																																												
Netoleroované rozmery																																																													
bez desetinnych mist	1 desetinne misto																																																												
±1	±0,1																																																												
2 desetinna mista	3 desetinna mista																																																												
±0,01	±0,001																																																												
1Ks KALIT NA 52+2 HRc TVAROVE PLOCHY LESTIT NEKOTOVANE TVARY DLE 3D				<table border="1"><tr><td colspan="2">Size acc. to / Masse nach</td></tr><tr><td colspan="2">ISO 14405-1:2010-12</td></tr><tr><td>envelope principle/ Huellprinzip</td><td>Ⓔ</td></tr></table>				Size acc. to / Masse nach		ISO 14405-1:2010-12		envelope principle/ Huellprinzip	Ⓔ																																																
Size acc. to / Masse nach																																																													
ISO 14405-1:2010-12																																																													
envelope principle/ Huellprinzip	Ⓔ																																																												
<table border="1"><tr><td>Ind.</td><td>Change/Aend.</td><td>YYYYMMDD</td><td>Drawn/Gez.</td><td>Checked/Gepr.</td><td>Releas./Freig.</td><td>BWN</td><td>Resp. dept./Verantw. Abt.</td><td>Add. info./Zus. Info.</td></tr><tr><td colspan="6">Treatment/ Behandlung</td><td colspan="2">Missed Details/Fehlende Angaben</td><td>Size/Gst.</td></tr><tr><td colspan="6">Mat./Stoff</td><td colspan="2">From/Aus</td><td></td></tr><tr><td>Lang./Spr.</td><td>en/de</td><td>Wght./Gew.</td><td colspan="2">BODY KOERPER</td><td colspan="3">Sheet/Bl.</td><td>1 / 1</td></tr><tr><td rowspan="2"></td><td>Crit. P.</td><td>Scale/M.stab</td><td rowspan="2">Mat.meets/Stoffe s.</td><td rowspan="2">Syst.</td><td rowspan="2">Doc. type DRW</td><td colspan="2">Výkres vložky pro 3. variantu řešení 2. část</td><td>DP/TD 001</td><td>Ind. 01</td><td>Format</td></tr><tr><td>MNR</td><td>1:1</td><td>1.2343</td><td>UG</td><td>Repl. for</td><td>Repl. by</td><td></td></tr></table>								Ind.	Change/Aend.	YYYYMMDD	Drawn/Gez.	Checked/Gepr.	Releas./Freig.	BWN	Resp. dept./Verantw. Abt.	Add. info./Zus. Info.	Treatment/ Behandlung						Missed Details/Fehlende Angaben		Size/Gst.	Mat./Stoff						From/Aus			Lang./Spr.	en/de	Wght./Gew.	BODY KOERPER		Sheet/Bl.			1 / 1		Crit. P.	Scale/M.stab	Mat.meets/Stoffe s.	Syst.	Doc. type DRW	Výkres vložky pro 3. variantu řešení 2. část		DP/TD 001	Ind. 01	Format	MNR	1:1	1.2343	UG	Repl. for	Repl. by	
Ind.	Change/Aend.	YYYYMMDD	Drawn/Gez.	Checked/Gepr.	Releas./Freig.	BWN	Resp. dept./Verantw. Abt.	Add. info./Zus. Info.																																																					
Treatment/ Behandlung						Missed Details/Fehlende Angaben		Size/Gst.																																																					
Mat./Stoff						From/Aus																																																							
Lang./Spr.	en/de	Wght./Gew.	BODY KOERPER		Sheet/Bl.			1 / 1																																																					
	Crit. P.	Scale/M.stab	Mat.meets/Stoffe s.	Syst.	Doc. type DRW	Výkres vložky pro 3. variantu řešení 2. část		DP/TD 001	Ind. 01	Format																																																			
	MNR	1:1				1.2343	UG	Repl. for	Repl. by																																																				
C1/NEM 104.20091 A4																																																													